

ANÁLISE DA COBERTURA FLORESTAL DE UMA BACIA ALTAMENTE FRAGMENTADA NO NORTE DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL

Resumo

No sudeste do Brasil, a bacia hidrográfica do Rio São Mateus está presente numa área do bioma Mata Atlântica marcada pelo intenso processo de fragmentação florestal causado pela expansão de atividades antrópicas. O objetivo deste estudo foi determinar e analisar métricas de ecologia da paisagem para caracterização do padrão espacial dos fragmentos florestais de mata nativa da bacia hidrográfica do Rio São Mateus - ES. Os fragmentos foram divididos em 4 classes de tamanho denominadas como C1 (< 5 ha), C2 (5-25 ha), C3 (25,1-50 ha) e C4 (> 50 ha). As métricas foram calculadas com a extensão *V-Late 2.0* no ArcGIS® e integraram os grupos área e densidade, borda, forma, área central e proximidade. Para as métricas de área central foram considerados efeitos de borda de 20, 40, 80, 100 e 140 m. Foram identificados 4.286 fragmentos de floresta nativa, que representaram 7,8% da área total da bacia. Há um predomínio de fragmentos com formatos mais regulares, pequenos (menores que 25,1 ha) e, conseqüentemente, com maior efeito de borda. Os resultados demonstraram que a bacia hidrográfica estudada se encontra altamente fragmentada, o que reforça a necessidade de estratégias voltadas para a conservação e ampliação dos remanescentes de floresta nativa dessa região.

Termos de Indexação: ecologia da paisagem, Mata Atlântica, geoprocessamento, floresta nativa

Introdução

No norte do estado do Espírito Santo (ES), a bacia hidrográfica do Rio São Mateus está presente em uma área considerável do bioma Mata Atlântica. O bioma Mata Atlântica

é um *hotspot*¹ ecológico com grande importância a nível global por conter diferentes níveis de riqueza, endemismo e composição de espécies (Martini et al., 2007; Araujo et al., 2015). Devido aos impactos causados pela ocupação humana, especialmente na conversão das florestas em áreas agrícolas e pastagem, a Mata Atlântica possui atualmente apenas 12,4% da sua cobertura original (Fundação SOS Pro-Mata Atlântica, 2021; Lima et al., 2021). Essa transformação conduziu à diversas mudanças na estruturação da paisagem e no seu equilíbrio ecológico, o que levou à formação de fragmentos de vegetação (Fahrig, 2003).

O processo de fragmentação é resultante do desmatamento de florestas e caracteriza-se pela mudança da configuração ou arranjo da cobertura florestal (Long et al., 2010). Curtis et al. (2018) verificaram que a perda de florestas em escala global está associada com a produção de commodities, agricultura itinerante, silvicultura, incêndios florestais e urbanização. Nos últimos anos, esses fatores vêm crescendo devido ao aumento da população, do consumo de alimentos e das práticas comerciais (Slattery e Fenner, 2021). Como resultado, a fragmentação ocasiona alterações complexas e duradouras na biodiversidade dos remanescentes florestais, com perda de espécies e alteração da diversidade funcional das comunidades (Zambrano et al., 2020).

A ecologia da paisagem pode abordar, entre outras questões, a importância da composição e configuração espacial dos fragmentos de vegetação nos processos ecológicos (Mcgarigal e Marks, 1994) e apresenta um papel fundamental na integração de diferentes escalas de biodiversidade (Singh et al., 2010). Para a identificação dos padrões de paisagem, diversos autores utilizaram a análise da distribuição espacial através do estudo da ecologia da paisagem com o uso de métricas pré-estabelecidas e tecnologias

¹ Criado por Myers (1988), o termo *hotspot* refere-se a áreas de relevância ecológica que possuem elevado número de espécies com alto nível de endemismo, e que geralmente apresentam alto grau de ameaça.

geoespaciais (Mcgarigal e Marks, 1994; Pirovani et al., 2014; Ponte et al., 2017; Santos et al., 2018; Yu et al., 2019).

No estudo da ecologia da paisagem, ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) aliadas ao sensoriamento remoto podem ser amplamente utilizadas em temas como a derivação de medidas de área e comprimento, análise de proximidade, funções de interseção espacial e derivação de dados para entrada em modelos de simulação de cálculo de métricas específicas (Johnson, 1990). Segundo Portillo-Quintero et al. (2012), a utilização do sensoriamento remoto tem permitido a obtenção de resultados mais confiáveis e precisos em análises sobre a cobertura florestal.

Mediante o exposto, o estudo da estrutura da paisagem florestal torna-se importante para região da bacia hidrográfica do Rio São Mateus, considerada uma das bacias com maiores necessidades de ações de restauração e com baixos índices de cobertura florestal nativa no estado do Espírito Santo (SEAMA, 2017). Esses fatores, aliados à carência de estudos nessa temática, tornam fundamental o conhecimento do padrão espacial da fragmentação na região. Portanto, o objetivo deste estudo foi determinar e analisar métricas de ecologia da paisagem para caracterização do padrão espacial dos fragmentos florestais de mata nativa da bacia hidrográfica do Rio São Mateus - ES.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do Rio São Mateus, localizada no estado do Espírito Santo, região sudeste do Brasil. No Espírito Santo, a bacia pertence à região norte do estado e possui uma área de drenagem de 8.237 km². Os afluentes principais da bacia são o rio Cotaxé (braço norte) e o rio Cricaré (braço sul), que nascem

no estado de Minas Gerais (MG) e se unem no município de São Mateus (ES) para formar o rio São Mateus. Sua extensão territorial abrange inteiramente os municípios de Água Doce do Norte, Barra de São Francisco, Ecoporanga e Vila Pavão. A bacia também está inserida parcialmente nos municípios de Boa Esperança, Conceição da Barra, Jaguaré, Mantemópolis, Nova Venécia, Ponto Belo e São Mateus (Figura 1) (AGERH, 2018).

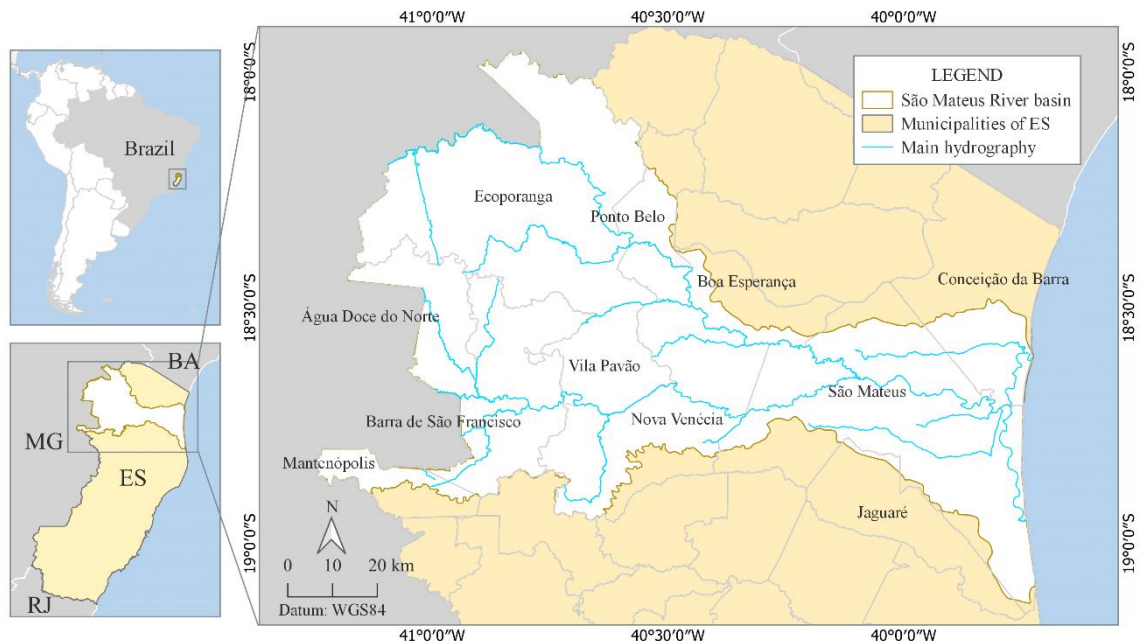


Fig. 1 Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio São Mateus no estado do Espírito Santo, Brasil. Abbreviations for Brazilian states names are: BA = Bahia, ES = Espírito Santo, MG = Minas Gerais, RJ = Rio de Janeiro.

A região onde se encontra a bacia é caracterizada por áreas de pastagens, monocultivo de eucalipto, cana de açúcar e fruticultura (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itaúnas & Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus, 2020). Com relação ao uso de água, a maior demanda de consumo é do setor de agricultura (93,9%), principalmente devido à atividade de irrigação. Os outros usos de água são abastecimento público (2,9%), pecuária (2,5%), indústria (0,6%) e aquicultura (0,1%) (SEAMA, 2018).

Segundo a classificação de Köppen, os climas encontrados na região são o clima tropical úmido ou subúmido (Am) e o clima tropical com inverno seco (Aw). A temperatura e precipitação média dos municípios da bacia é de 23°C e 1.262 mm, respectivamente (Alvares et al., 2013). Os principais tipos de solo encontrados são Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo e Latossolo Vermelho (Cunha et al., 2016). O tipo de vegetação que predomina nessa região é a Floresta Ombrófila Densa. A exceção ocorre na região costeira, onde há o predomínio de áreas de Formações Pioneiras, com presença de manguezais e campos salinos (Martins e Cavararo, 2012). As áreas na porção interior e oeste da bacia caracterizam-se pela topografia de relevo acidentado com presença de planaltos, enquanto a região litorânea caracteriza-se pela presença de planícies (AGERH, 2018).

Mapeamento dos fragmentos florestais

Foi utilizado o mapeamento de cobertura vegetal e uso da terra disponibilizado no sítio eletrônico do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES) pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - ES (IEMA). Esse mapeamento foi realizado a partir da fotointerpretação de ortofotomosaicos do período de 2012-2015, com resolução espacial de 0,25 m e precisão 1:10.000 (GEOBASES, 2020). Os arquivos vetoriais utilizados para caracterização e delimitação da bacia foram fornecidos pelo Comitê das Bacias Hidrográficas Afluentes dos Rios São Mateus Braço Norte e Braço Sul no Estado do Espírito Santo (CBH São Mateus). Também foram utilizados arquivos vetoriais disponíveis no sítio eletrônico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para representação das malhas territoriais (IBGE, 2020).

Para criação do mapa de fragmentos florestais da bacia, foi selecionada a classe “mata nativa” e quantificado os fragmentos de acordo com seus respectivos tamanhos de

área em hectare (ha). Os fragmentos quantificados foram divididos por tamanho de área e foram divididos em classes denominadas como C1 (< 5 ha), C2 (5-25 ha), C3 (25,1-50 ha) e C4 (> 50 ha).

Cálculo das métricas de ecologia da paisagem

A partir do mapa de fragmentos florestais foram determinadas as métricas de ecologia da paisagem com o auxílio da extensão *Vector-based Landscape Analysis Tools 2.0* (V-Late 2.0) no *software* ArcGIS® (versão 10.8). O cálculo das métricas foi realizado conforme proposto por McGarigal e Marks (1994) (Tabela 1). Para facilitar na organização, as métricas adotadas foram agrupadas em função de sua natureza, em área e densidade, borda, forma, área central e proximidade.

Tabela 1. Métricas de ecologia da paisagem calculadas pela extensão *V-Late 2.0* para os fragmentos de mata nativa da bacia hidrográfica do Rio São Mateus-ES.

Grupo	Métricas	Sigla (unidade)
Área e Densidade	Área da classe	CA (ha)
	Área média dos fragmentos	MPS (ha)
	Número de fragmentos	NP (adimensional)
	Desvio padrão da área dos fragmentos	PSSD (ha)
	Coefficiente de variação da área dos fragmentos	PSCoV (%)
Borda	Total de borda	TE (m)
	Densidade de borda	ED (m ha ⁻¹)
Forma	Índice de forma médio	MSI (adimensional)
	Dimensão fractal	MFRACT (adimensional)
Área central	Total de área central	TCA (ha)
	Número de áreas centrais	NCA (adimensional)
	Área central média	MCA (ha)
	Índice de área central médio	TCAI (%)
	Desvio padrão da área central	DPCA (ha)
Proximidade	Distância média do fragmento mais próximo	MNN (m)

Para obtenção de diferentes cenários, foi simulado o cálculo das métricas de área central para as distâncias de borda de 20, 40, 80, 100 e 140 m. Em relação às métricas de

forma, o padrão adotado para o cálculo do índice de forma médio (MSI) foi o formato de círculo, sendo que valores mais próximos de 1 foram considerados mais regulares.

Resultados

As análises espaciais permitiram verificar que a floresta nativa está presente em apenas 7,8% da área total da bacia e encontra-se distribuída em 4.286 fragmentos (NP). Os fragmentos das classes C1 e C2 representaram 43,2% e 43,5% do número total, respectivamente. Já os fragmentos da classe C4 foram registrados em pequeno número (5,3%), apesar de ocuparem 41,1% da área (CA) de cobertura florestal nativa (Tabela 2). Em razão do maior número, os fragmentos das classes C1 e C2 apresentaram maior proximidade, expressa pela métrica MNN, ao passo que os fragmentos das classes C3 e C4 apresentaram maior isolamento (Tabela 2).

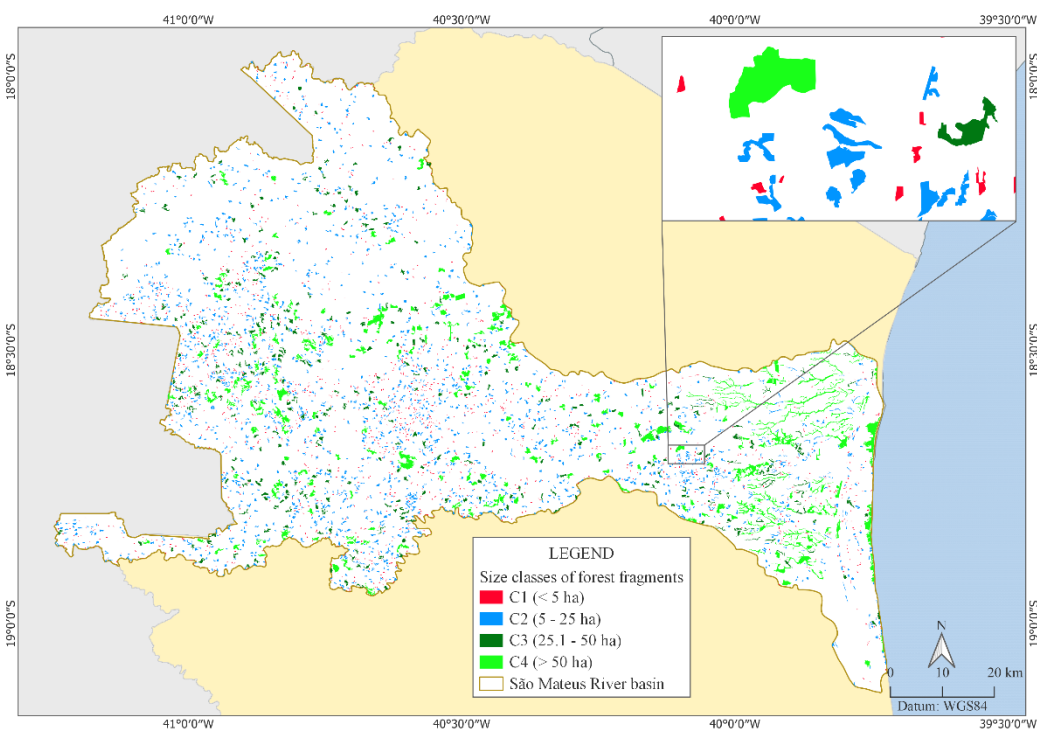


Fig. 2 Mapa de classificação dos fragmentos de mata nativa da bacia hidrográfica do Rio São Mateus-ES, em função de classes de área, em ha.

O tamanho médio dos fragmentos (MPS) e seus respectivos desvios (PSSD) indicaram que a maior parte dos fragmentos das classes C2 e C3 possuem tamanhos mais

próximos dos limites inferiores da classe (Tabela 2). A classe C4 apresentou a maior variabilidade no tamanho dos fragmentos, demonstrado pelo valor de sua variabilidade proporcional (PScov) (Tabela 2).

No que diz respeito às métricas de borda, os fragmentos das classes C2 e C4 apresentaram os maiores valores de TE, enquanto os fragmentos das classes C1 e C3 apresentaram valores inferiores (Tabela 2). No entanto, mesmo com o menor valor total de borda, os fragmentos da classe C1 apresentaram maior relação borda/área (ED) (Tabela 2).

Em relação à forma, os valores de MSI aumentaram com o acréscimo das áreas dos fragmentos, o que indica que os fragmentos das classes C3 e C4 apresentaram formas mais irregulares (Tabela 2). Já a dimensão fractal média (MFRAC) apresentou valores próximos em todas as classes de tamanho, o que demonstra que a utilização dessa métrica não foi representativa para avaliar a forma dos fragmentos da bacia.

Tabela 2. Valores das métricas de ecologia da paisagem para as diferentes classes de tamanho dos fragmentos de mata nativa da bacia hidrográfica do Rio São Mateus - ES.

Grupo	Métricas	Classes			
		C1 (< 5 ha)	C2 (5 - 25 ha)	C3 (25,1 - 50 ha)	C4 (> 50 ha)
Área e Densidade	CA (ha)	4.775,24	21.035,17	11.877,21	26.271,65
	MPS (ha)	2,58	11,28	34,63	116,25
	NP (adimensional)	1.852	1.865	343	226
	PSSD (ha)	1,28	5,19	6,83	106,99
	PSCoV (%)	49,6	46,0	19,7	92,0
Borda	TE (m)	1.403.493,1	3.709.226,1	1.586.306,7	2.775.796,6
	ED (m/ha)	293,91	176,33	133,56	105,66
Forma	MSI	1,38	1,681	2,215	3,129
	MFRAC	1,318	1,304	1,316	1,333
Proximidade	MNN (m)	661,09	576,41	1.562,92	1.477,07

Na Tabela 3 estão apresentados os valores das métricas de área central para as diferentes distâncias de borda consideradas. De forma geral, o aumento da borda fez com que as métricas de área central diminuíssem para todas as classes. Os fragmentos das classes C1 e C2 foram os que apresentaram maior redução nos valores com o aumento das bordas. Os fragmentos das classes C2, C3 e C4, mesmo com redução considerável, conseguiram manter áreas centrais para efeito de borda de 140 m. Os fragmentos da classe C4 tiveram os maiores valores para TCA em todas as distâncias de borda. Já os fragmentos da classe C2, que apresentaram o segundo maior TCA nas distâncias de 20 e 40 m, reduziu seu valor consideravelmente em 80 m de borda (Tabela 3).

Nos fragmentos da classe C1, observa-se que à medida que cresce a distância da borda, os valores de área central reduzem drasticamente, a tal ponto que na borda de 80 m, o valor do índice de área central total (TCAI) reduz para 0,3%. Em contrapartida, os fragmentos da classe C4 apresentaram, na mesma distância de borda de 80 m, o valor de 37,9% (Tabela 3).

Tabela 3. Valores das métricas de ecologia da paisagem referentes ao grupo área central para as diferentes classes de tamanho dos fragmentos de mata nativa da bacia hidrográfica do Rio São Mateus - ES.

Distância de borda (m)	C1 (< 5 ha)				
	TCA (ha)	NCA (adimensional)	MCA (ha)	TCAI (%)	DPCA (ha)
20	2.338,67	2.089	1,12	48,97	0,88
40	838,75	2.015	0,42	17,56	0,47
80	14,43	1.853	0,01	0,30	0,03
100	0,11	1.852	0,00	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Distância de borda (m)	C2 (5 - 25 ha)				
	TCA (ha)	NCA (adimensional)	MCA (ha)	TCAI (%)	DPCA (ha)
20	14.086,78	2.570	5,48	66,97	4,66
40	8.610,72	2.803	3,07	40,93	3,29
80	2.389,23	2.230	1,07	11,36	1,63
100	1.062,22	2.002	0,53	5,05	1,07
140	147,18	1.876	0,08	0,70	0,33

Distância de borda (m)	C3 (25,1 - 50 ha)				
	TCA (ha)	NCA (adimensional)	MCA (ha)	TCAI (%)	DPCA (ha)
20	8.843,72	676	13,08	74,46	12,88
40	6.309,62	771	8,18	53,12	9,42
80	2.901,33	653	4,44	24,43	5,44
100	1.858,63	574	3,24	15,65	4,17
140	654,08	406	1,61	5,51	2,34
Distância de borda (m)	C4 (> 50 ha)				
	TCA (ha)	NCA (adimensional)	MCA (ha)	TCAI (%)	DPCA (ha)
20	20.881,92	723	28,88	79,48	61,53
40	16.224,35	1.079	15,04	61,76	42,45
80	9.967,36	829	12,02	37,94	33,05
100	7.904,43	665	11,89	30,09	32,35
140	5.036,95	433	11,63	19,17	28,55

Discussão

Os resultados de NP mostraram que a bacia do Rio São Mateus passou por alterações ao longo do tempo que a tornaram altamente fragmentada, com 94,7% de remanescentes florestais nativos menores que 50 ha. Esses resultados evidenciam uma situação mais crítica do que a encontrada por Ribeiro et al. (2009), que identificaram que a cobertura florestal nativa em toda a Mata Atlântica era composta por 83,4% de fragmentos com menos de 50 ha. Essa configuração da cobertura florestal da bacia é reflexo do intenso processo de degradação provocado pela expansão agropecuária e extração madeireira nas últimas décadas no norte do Estado do Espírito Santo (Thomaz, 2010).

A adequação ambiental de propriedades rurais com base na Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651/2012) é essencial para a ampliação da cobertura florestal, já que exige a regularização de Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Reserva Legal (RL). A lei também prevê a instituição de programas de apoio técnico e incentivos financeiros, dentre eles está o pagamento por serviços ambientais (PSA) (Brasil, 2012). No Espírito Santo, o Programa Reflorestar é uma importante iniciativa de PSA do governo estadual que visa a restauração e conservação da vegetação nativa em

municípios do estado (Benini et al., 2016). Apesar dos seus incentivos, o programa nem sempre está disponível em toda a bacia e/ou há trâmites burocráticos que dificultam o acesso (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itaúnas & Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus, 2020). Com base nos resultados divulgados pela SEAMA (2021) e o mapeamento realizado neste estudo, Nova Venécia, por exemplo, foi o município com maior adesão de produtores, porém apenas 2,1% da mata nativa do município é reconhecida com PSA. Nessa linha, o estudo de Ramirez-Reyes et al. (2018) reforçam que esquemas de PSA ajudaram a reduzir a fragmentação florestal no México em nível regional e nacional, com diminuição do número de manchas e bordas de floresta.

O elevado número de fragmentos menores (classes C1 e C2) pode ter contribuído para uma maior proximidade entre esses remanescentes. Enquanto isso, os fragmentos maiores (classes C3 e C4) apresentaram maior grau de isolamento. Esta maior proximidade de fragmentos pequenos é importante por proporcionar a formação de mosaicos de cobertura florestal funcionalmente interligados, capazes de contribuir com a conectividade regional (Ribeiro et al., 2009; Diniz et al., 2021), o que gera maior fluxo gênico entre as espécies da fauna e da flora (Aizen e Feinsinger, 1994). Para a fauna, embora a área do fragmento seja um parâmetro importante para explicar a riqueza de espécies (Zungu et al., 2020), os fragmentos menores aumentam a acessibilidade do habitat para espécies que poderiam ter sua persistência ameaçada pelo isolamento (Diniz et al., 2021).

A densidade de borda (ED) é importante para facilitar a comparação do efeito de borda em paisagens com diferentes tamanhos (Gonçalves et al., 2019). Neste estudo, a concentração do maior número de fragmentos em classes de menores tamanhos (classes C1 e C2) conduziram à maior densidade de borda. Destaca-se que a elevada quantidade de fragmentos com áreas entre 5 e 25 ha fez com que a classe C2 apresentasse maior

quantidade de borda (TE), quando comparada com as demais classes. Nas simulações com diferentes distâncias de borda, existe uma diminuição de área central média (MCA) do fragmento com o aumento da borda em todas as classes de tamanho. A maior quantidade de borda propicia uma alta exposição a ventos e acentuadas diferenças microclimáticas, que facilitam intervenções antrópicas e causam diversos impactos físicos e biológicos (Haddad et al., 2015; Rezende et al., 2018). Segundo Haddad et al. (2015) mais de 40% dos remanescentes florestais da Mata Atlântica possuem sua área interior a menos de 100 m de uma borda, o que pode reduzir a biodiversidade nessas áreas em até 75% e alterar funções ecossistêmicas essenciais, como a diminuição da biomassa e alteração dos ciclos de nutrientes.

Além dos impactos sobre a biodiversidade, a diminuição da cobertura florestal leva à perda de quantidade e qualidade dos recursos hídricos (Araújo et al., 2015, De Mello et al., 2018) e causa grandes impactos no setor econômico e na sociedade (Lele et al., 2008). Em determinadas áreas da bacia hidrográfica do rio São Mateus, Puppim et al. (2019) verificaram que 17,4% da disponibilidade hídrica já está comprometida pelas demandas atuais. Baseado numa evolução tendencial de 20 anos, a partir do observado no ano de 2017, os autores concluíram que esse agravamento tende a piorar nos próximos anos. Aliado a esse cenário hídrico preocupante, o padrão espacial de fragmentação de floresta nativa na área da bacia hidrográfica do Rio São Mateus reforça a importância da conservação e ampliação dos remanescentes florestais nativos.

Conclusões

Apenas 7,8% da área da bacia é composta por cobertura florestal nativa (Mata Atlântica). No total, foram identificados 4.286 fragmentos, com predomínio de fragmentos pequenos (menores que 25 ha), formatos mais regulares e, conseqüentemente,

com maior efeito de borda. Para a região, desconsidera-se totalmente a área central de fragmentos menores que 5 ha ao se utilizar uma distância de borda acima de 100 metros.

O padrão espacial da floresta nativa da bacia hidrográfica do Rio São Mateus, determinado pelas métricas de Ecologia da Paisagem, demonstrou que ela se encontra altamente fragmentada do ponto de vista florestal, o que reforça a necessidade de ações voltadas para conservação e ampliação das áreas de floresta nativa dessa região.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Comitê das Bacias Hidrográficas Afluentes dos rios São Mateus Braço Norte e Braço Sul no Estado do Espírito Santo (CBH São Mateus), ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) e ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) pela disponibilização de dados e informações sobre a área do estudo.

Referências

- AGERH. (2018, January). *Diagnóstico e prognóstico das condições de uso da água na bacia hidrográfica do Rio São Mateus*. Agência Estadual de Recursos Hídricos. Retrieved March 20, 2021, from <https://agerh.es.gov.br/cbh-sao-mateus>
- Aizen, M. A., & Feinsinger, P. (1994). Habitat fragmentation, native insect pollinators, and feral honey bees in Argentine'Chaco Serrano'. *Ecological applications*, 4(2), 378-392. <https://doi.org/10.2307/1941941>
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. D. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

Araujo, L. S., Komonen, A., & Lopes-Andrade, C. (2015). Influences of landscape structure on diversity of beetles associated with bracket fungi in Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation*, *191*, 659-666.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.08.026>

Benini, R. M., Sossai, M. F., Padovezi, A., & Matsumoto, M. H. (2016). Plano estratégico da cadeia da restauração florestal: o caso do Espírito Santo. In: Silva, A. P. M., Marques, H. R., & Sambuichi, R. H. R. (Eds.) *Mudanças no Código Florestal Brasileiro: desafios para a implementação da nova lei* (pp. 209-234). Rio de Janeiro, RJ: Ipea.

Brasil. *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa [...] e dá outras providências.* (May 25, 2012). Retrieved September 1, 2021, from [http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651compilado.htm)

[2014/2012/Lei/L12651compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651compilado.htm)

Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itaúnas & Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus (2020). *Planejamento da restauração nas bacias dos rios Itaúnas e São Mateus*. Agência Estadual de Recursos Hídricos. Retrieved September 01, 2021, from https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Documenta%C3%A7%C3%A3o%20CBHs/Ita%C3%BAnas/AF_WRI_BaciasES_diagramacao.pdf

Cunha, A. D. M., Feitoza, H. N., Feitoza, L. R., Oliveira, F. S., Lani, J. L., Cardoso, J. K. F., & Trindade, F. S. (2016). Atualização da legenda do mapa de reconhecimento de solos do Estado do Espírito Santo e implementação de interface no Geobases para uso de dados em SIG. *Geografares*, *2*(22), 32-65. <https://doi.org/10.7147/GEO23.12356>

Curtis, P. G., Slay, C. M., Harris, N. L., Tyukavina, A., & Hansen, M. C. (2018). Classifying drivers of global forest loss. *Science*, *361*(6407), 1108-1111. <https://doi.org/10.1126/science.aau3445>

- de Mello, K., Valente, R. A., Randhir, T. O., dos Santos, A. C. A., & Vettorazzi, C. A. (2018). Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: Watershed versus riparian zone. *Catena*, *167*, 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.04.027>
- Diniz, M. F., Coelho, M. T., de Sousa, F. G., Hasui, É., & Loyola, R. (2021). The underestimated role of small fragments for carnivore dispersal in the Atlantic Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation*, *19*(1), 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2020.12.001>
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, *34*(1), 487-515. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>
- Gonçalves, A. L., da Cruz, V. M. S., & Serra, A. B. (2019). Fragmentação florestal na Região de Integração do Lago de Tucuruí, Pará, Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, *62*. <http://doi.org/10.22491/rca.2019.3048>
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., ... & Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science advances*, *1*(2), e1500052, 2015. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>
- IBGE. *Mapeamento das Unidades Territoriais*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Retrieved October 01, 2020, from <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>
- Johnson, L. B. (1990). Analyzing spatial and temporal phenomena using geographical information systems. *Landscape Ecology*, *4*(1), 31-43. <https://doi.org/10.1007/BF02573949>

- Lele, N., Joshi, P. K., & Agrawal, S. P. (2008). Assessing forest fragmentation in northeastern region (NER) of India using landscape matrices. *Ecological indicators*, 8(5), 657-663. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.10.002>
- de Lima, M. S., Araujo, M. M., Aimi, S. C., de Oliveira, V. V., Berghetti, Á. L., Nascimento, N. F., & Tarouco, C. P. (2021). Use of physiological attributes to select native forest species for forest restoration in the southern Atlantic forest biome, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 501, 119659. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119659>
- Long, J. A., Nelson, T. A., & Wulder, M. A. (2010). Characterizing forest fragmentation: Distinguishing change in composition from configuration. *Applied Geography*, 30(3), 426-435. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.12.002>
- Martini, A. M. Z., Fiaschi, P., Amorim, A. M., & Da Paixão, J. L. (2007). A hot-point within a hot-spot: a high diversity site in Brazil's Atlantic Forest. *Biodiversity and Conservation*, 16(11), 3111-3128. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9166-6>
- Martins, L.; Cavararo, R. (2012). *Manual Técnico da Vegetação Brasileira: Sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos* (2nd ed.). Rio de Janeiro: IBGE.
- McGarigal, K., & Marks, B. J. (1994). *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Reference manual*. Covarllis Oregon: For Science Department Oregon State University.
- Myers, N. (1988). Threatened biotas: "Hot spots" in tropical forests. *Environmentalist*, 8, 187-208. <https://doi.org/10.1007/BF02240252>

Pirovani, D. B., Silva, A. G. D., Santos, A. R. D., Cecílio, R. A., Gleriani, J. M., & Martins, S. V. (2014). Análise espacial de fragmentos florestais na Bacia do Rio Itapemirim, ES. *Revista Árvore*, 38(2), 271-281.

Da Ponte, E., Roch, M., Leinenkugel, P., Dech, S., & Kuenzer, C. (2017). Paraguay's Atlantic Forest cover loss—Satellite-based change detection and fragmentation analysis between 2003 and 2013. *Applied Geography*, 79, 37-49. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.005>

Portillo-Quintero, C. A., Sanchez, A. M., Valbuena, C. A., Gonzalez, Y. Y., & Larreal, J. T. (2012). Forest cover and deforestation patterns in the Northern Andes (Lake Maracaibo Basin): a synoptic assessment using MODIS and Landsat imagery. *Applied Geography*, 35(1-2), 152-163. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.06.015>

Puppim, L. G., Vaneli, B. P., Moreira, L. L., & Novais, R. R. (2019). Cenário tendencial de comprometimento hídrico na bacia hidrográfica do rio São Mateus-ES. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 8(3), 172-192. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v8e32019172-192>

Ramirez-Reyes, C., Sims, K. R., Potapov, P., & Radeloff, V. C. (2018). Payments for ecosystem services in Mexico reduce forest fragmentation. *Ecological Applications*, 28(8), 1982-1997. <https://doi.org/10.1002/eap.1753>

Rezende, C. L., Scarano, F. R., Assad, E. D., Joly, C. A., Metzger, J. P., Strassburg, B. B. N., Tabarelli, M., Fonseca, G. A., & Mittermeier, R. A. (2018). From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in ecology and conservation*, 16(4), 208-214. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.10.002>

Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., 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*, 142(6), 1141-1153.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>.

Santos, J. S., Leite, C. C. C., Viana, J. C. C., dos Santos, A. R., Fernandes, M. M., Abreu, V. S., do Nascimento, T. P., dos Santos, L. S., Fernandes, M. R. M., da Silva, G. F., & de Mendonça, A. R. (2018). Delimitation of ecological corridors in the Brazilian Atlantic Forest. *Ecological Indicators*, 88, 414-424.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.011>

SEAMA. *Avaliação das oportunidades da restauração de paisagens e florestas para o Estado do Espírito Santo, Brasil*. (2017). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Retrieved September 1, 2021, from https://infoflr.org/sites/default/files/2020-04/forest_landscape_restoration_opportunities_assessment_in_espírito_santo_state.pdf

SEAMA. *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo*. (2018). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Retrieved September 1, 2021, from https://perh.es.gov.br/Media/perh/Arquivos%20Biblioteca/PERH-ES_DocumentoConsolidado.pdf

SEAMA. *Resultados do Programa Reflorestar*. (2021). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Retrieved September 20, 2021, from https://seama.es.gov.br/resultados_programa

Singh, J. S., Roy, P. S., Murthy, M. S. R., & Jha, C. S. (2010). Application of landscape ecology and remote sensing for assessment, monitoring and conservation of biodiversity. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 38(3), 365-385.
<https://doi.org/10.1007/s12524-010-0033-7>

GEOBASES. *IEMA - MAPEAMENTO ES - 2012-2015*. Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo. Retrieved October 1, 2020, from <https://geobases.es.gov.br/links-para-mapas1215>

Slattery, Z., & Fenner, R. (2021). Spatial Analysis of the Drivers, Characteristics, and Effects of Forest Fragmentation. *Sustainability*, *13*(6), 3246. <https://doi.org/10.3390/su13063246>

Fundação SOS Pro-Mata Atlântica. *Mata Atlântica*. Retrieved March 22, 2021, from <https://www.sosma.org.br/causas/mata-atlantica/>

Thomaz, L. D. (2010). A Mata Atlântica no estado do Espírito Santo, Brasil: de Vasco Fernandes Coutinho ao século 21. *Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão*, *27*, 5-20.

Yu, H., Liu, X., Kong, B., Li, R., & Wang, G. (2019). Landscape ecology development supported by geospatial technologies: A review. *Ecological Informatics*, *51*, 185-192. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.03.006>

Zambrano, J., Cordeiro, N. J., Garzon-Lopez, C., Yeager, L., Fortunel, C., Ndangalasi, H. J., & Beckman, N. G. (2020). Investigating the direct and indirect effects of forest fragmentation on plant functional diversity. *PloS one*, *15*(7), e0235210. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235210>

Zungu, M. M., Maseko, M. S., Kalle, R., Ramesh, T., & Downs, C. T. (2020). Effects of landscape context on mammal richness in the urban forest mosaic of EThekweni Municipality, Durban, South Africa. *Global Ecology and Conservation*, *21*, e00878. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00878>