



INTEGRAÇÃO DE INDICADORES BIOLÓGICOS E VARIÁVEIS GEOESPACIAIS PARA DIAGNÓSTICO DE RIACHOS NO PESC GUANHÃES

Maderson Diego Rocha de Moura¹ - Jonathan da Rocha Miranda² - Geovana da Costa
Ferreira³ - Luciano Marques Pinheiro Dias³ - Grazielle Wolff de Almeida Carvalho⁴

RESUMO

O presente estudo avaliou a influência de variáveis ambientais sobre a riqueza e abundância de macroinvertebrados bentônicos em riachos do Parque Estadual da Serra do Candonga (PESC), integrando dados de campo, sensoriamento remoto e modelagem hidrológica. Foram amostrados 14 pontos, nos quais se identificaram e quantificaram os organismos bentônicos, dimensionando-se suas métricas de riqueza e abundância. Imagens do Sentinel-2 (13/03/2024) com 0,004% de nuvens foram utilizadas para o cálculo dos índices NDVI e SAVI, associados à vegetação ripária. A vazão média foi estimada pela relação entre a precipitação do CHIRPS, o uso do solo do MapBiomas e a declividade derivada do Copernicus DEM, possibilitando a delimitação das microbacias e o cálculo do Indicador de Distância (DI). Os dados foram modelados pelo algoritmo Random Forest (100 árvores, validação Leave-One-Out). Os resultados revelaram alta correlação ($r > 0,90$) entre valores observados e estimados, indicando que a vazão, cobertura vegetal e área de drenagem são determinantes para a estrutura das comunidades bentônicas. Conclui-se que a integração entre geoprocessamento e modelagem ecológica é uma ferramenta eficaz para compreender e prever a integridade ecológica de riachos tropicais.

Palavras-chave: macroinvertebrados bentônicos; sensoriamento remoto; Random Forest.

1 INTRODUÇÃO

A integridade ecológica de ecossistemas lóticos tem recebido crescente atenção científica e política, sobretudo em bacias hidrográficas tropicais sujeitas à fragmentação e à intensificação do uso da terra (BREJÃO; LEAL; GERHARD, 2021; VILLELA, 2020). Riachos de cabeceira são altamente sensíveis a essas alterações, respondendo rapidamente a mudanças no uso do solo e no regime hidrológico, desempenhando papel essencial na

1 Pós-Graduação em Meio Ambiente, Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista.

2 Engenheiro Agrícola, Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* São João Evangelista (Orientador).

3 Engenharia Florestal, Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* São João Evangelista.

4 Engenharia Sanitária e Ambiental - Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* São João Evangelista (Orientadora).



biodiversidade, na ciclagem de nutrientes e na conectividade ecológica entre habitats (ROSCILD, 2023).

Mesmo quando localizados em Unidades de Conservação (UCs), como o Parque Estadual da Serra do Candonga (PESC), esses ambientes sofrem pressões de atividades antrópicas, históricas ou atuais, incluindo abertura de trilhas, pastagens e agricultura de subsistência. Tais intervenções podem comprometer a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas aquáticos, tornando indispensáveis avaliações integradas que considerem aspectos biológicos, físicos e da paisagem (DA SILVA-LEITE et al., 2022; FERREIRA, 2006).

O uso de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores destaca-se como ferramenta eficiente para avaliar a qualidade ambiental, uma vez que esses organismos respondem a estressores como poluição, alteração de hábitat e perda de vegetação ripária (ABÍLIO et al., 2007; BARBOZA, 2011). Métricas como riqueza, diversidade e proporção de grupos sensíveis (EPT) são amplamente utilizadas em protocolos de monitoramento.

A integração de sensoriamento remoto e geoprocessamento potencializa essas análises, permitindo caracterizar variáveis como uso do solo, vegetação ripária e declividade. A combinação desses dados com informações biológicas possibilita construir modelos preditivos de integridade ecológica e identificar áreas prioritárias para conservação, consolidando uma abordagem espacialmente explícita para o monitoramento ambiental em riachos tropicais (BREJÃO et al., 2021; VILLELA, 2020).

2 METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em 14 pontos de amostragem distribuídos ao longo da rede de drenagem da bacia do Parque Estadual da Serra do Candonga (PESC) e Ribeirão Graipu. Em cada ponto foram coletadas amostras de água para quantificação e identificação dos macroinvertebrados bentônicos, a partir dos quais foram determinados os índices de riqueza e abundância das comunidades aquáticas.

Para caracterização ambiental, foram utilizadas imagens Sentinel-2 adquiridas em 13 de março de 2024, com 0,004% de cobertura de nuvens. A partir dessas imagens, foram calculados os índices espectrais NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e SAVI



(*Soil Adjusted Vegetation Index*), utilizados como indicadores da cobertura vegetal e das condições de entorno ripário.

A vazão média foi estimada com base na relação entre a precipitação média anual do produto CHIRPS e o escoamento superficial, calculado a partir da reclassificação do uso e cobertura do solo do MapBiomass conforme metodologia recomendada pela USDA, que integra também a declividade obtida pelo modelo Copernicus DEM. Esse modelo de elevação foi corrigido hidrológicamente, permitindo a delimitação das microbacias de contribuição e a identificação dos pontos exutórios.

O efeito da proximidade dos rios foi calculado por meio do Indicador de Distância (DI), aplicado aos índices espectrais ponderados, de modo a representar o gradiente de influência hidrológica sobre cada ponto amostral.

Com os dados organizados, as métricas de riqueza e abundância bentônica foram modeladas em função das variáveis ambientais — índices espectrais ponderados, vazão média e acumulada, declividade e área de drenagem — utilizando o modelo *Random Forest* com 100 árvores e validação *Leave-One-Out*.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Os resultados da modelagem demonstram que a riqueza e a abundância de macroinvertebrados bentônicos estão fortemente relacionadas às variáveis hidrológicas, morfométricas e espectrais da bacia do Parque Estadual da Serra do Candonga (PESC) (Tabela 1). O elevado desempenho dos modelos de *Random Forest* ($r = 0,95$ para riqueza e $r = 0,91$ para abundância) confirma que as variáveis vazão média, vazão acumulada, área de drenagem, NDVI e SAVI explicam de forma consistente a variação espacial das comunidades aquáticas.

Tabela 1. Indicadores estatístico do processo de modelagem *Random Forest*

Indicador estatístico	Riqueza	Abundância
Coefficiente de correlação (r)	0,9544	0,9164
Erro médio absoluto (MAE)	1,96	216,19
Raiz do erro quadrático médio (RMSE)	2,38	304,39

Fonte: autores.



A influência predominante das variáveis hidrológicas indica que a disponibilidade hídrica e a conectividade longitudinal são determinantes para a diversidade biológica. Esse padrão é coerente com o conceito de continuidade fluvial proposto por Vannote et al. (1980), segundo o qual a variação natural do fluxo condiciona a estrutura ecológica dos riachos. Estudos de Waters (1996) reforçam que a estabilidade hidrológica e a retenção de matéria orgânica favorecem comunidades mais complexas e funcionais.

A forte contribuição dos índices NDVI e SAVI reforça o papel da vegetação ripária na manutenção da integridade ecológica. De acordo com Park et al. (2021), índices de vegetação derivados de sensores remotos são preditores robustos da qualidade biológica de riachos tropicais. De forma semelhante, Jönsson et al. (2017) observaram que o aumento do uso agrícola reduz a riqueza e favorece táxons tolerantes.

Tabela 2. Importância relativa das variáveis utilizadas na regressão Random Forest.

Descrição	Riqueza (%)	Abundância (%)
Vazão total acumulada	100,0	47,9
Vazão média	68,6	65,3
Área da microbacia de contribuição	64,3	100,0
SAVI	56,6	50,0
NDVI	37,7	43,6
Declividade	0,0	0,0

Fonte: autores.

A variável área da microbacia mostrou-se essencial na explicação da abundância, corroborando Dudgeon et al. (2006) e Silveira et al. (2020), que destacam o papel da heterogeneidade espacial e da conectividade lateral na manutenção da biomassa aquática.

4 CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que a riqueza e a abundância de macroinvertebrados bentônicos estão diretamente relacionadas às condições hidrológicas, morfométricas e de cobertura vegetal da bacia do Parque Estadual da Serra do Candonga (PESC). A influência da vegetação ripária confirma seu papel essencial na manutenção da qualidade da água e na estabilidade dos habitats aquáticos.



REFERÊNCIAS

- ABÍLIO, F. J. P. et al. Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade ambiental de corpos aquáticos da Caatinga. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 3, p. 397-409, 2007..
- ALLAN, J. D.; CASTILLO, M. M. Stream ecology: structure and function of running waters. 2. ed. Dordrecht: Springer, 2007.
- BARBOZA, L. G. A. O biomonitoramento aquático como ferramenta de gestão ambiental. 2011. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)** – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- BREJÃO, G. L.; LEAL, C. G.; GERHARD, P. A ecologia de peixes de riacho sob a perspectiva da ecologia de paisagens. **Oecologia Australis**, v. 25, n. 2, p. 493-493, 2021.
- DA SILVA-LEITE, M. et al. Insetos bentônicos como bioindicadores de qualidade ambiental no Jardim Botânico de Brasília. **Heringeriana**, v. 16, p. e917962, 2022.
- DUDGEON, D. et al. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. **Biological Reviews**, v. 81, n. 2, p. 163-182, 2006.
- FERREIRA, C. P. Comunidades de peixes e integridade biótica do Córrego da Água Limpa na fase de pré-recuperação de matas ciliares. 2006. **Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas)** – Universidade Estadual Paulista (UNESP)
- JÖNSSON, M. et al. Land use influences macroinvertebrate community composition in boreal headwaters through altered stream conditions. **Freshwater Biology**, v. 61, n. 9, p. 1502-1515, 2016.
- PARK, Y. S. et al. Evaluating the relationships between riparian land cover characteristics and biological integrity of streams using random forest algorithms. **Ecological Indicators**, v. 125, p. 107-118, 2021.
- PARREIRA DE CASTRO, D. M. et al. Land cover disturbance homogenizes aquatic insect functional structure in Neotropical savanna streams. **PLoS ONE**, v. 11, n. 3, p. e0150527, 2016.
- SILVEIRA, M. P.; BAPTISTA, D. F.; BUSS, D. F. Influence of riparian vegetation on macroinvertebrate communities in Atlantic Forest streams. **Hydrobiologia**, v. 847, n. 9, p. 2027-2039, 2020.
- VANNOTE, R. L. et al. The river continuum concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, n. 1, p. 130-137, 1980.
- VILLELA, A. C. A. S. et al. Efeito do uso do solo sobre o agrupamento trófico funcional da comunidade de macroinvertebrados em riachos na Bacia do Iguaçu. 2020. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)** – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.