



## MAPEAMENTO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E IMPLEMENTAÇÃO DE AÇÕES DE REFLORESTAMENTO EM RESPOSTA AOS CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM GUANHÃES, MG

Luiz Flávio Nunes Costa <sup>(1)</sup> Ana Flávia Silva Sousa <sup>(1)</sup> Jonathan da Rocha Miranda <sup>(2)</sup>

1 Engenharia Florestal | IFMG - *Campus* São João Evangelista

2 Engenharia Agrícola e Ambiental | Mestrado em Recursos Hídricos e Doutorado em Engenharia Agrícola | IFMG - *Campus* São João Evangelista

### RESUMO

Este estudo projetou a integridade da cobertura vegetal nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) da microbacia do Alto Graipu (MG) considerando cenários futuros de uso do solo e mudanças climáticas (2080–2100). Utilizando dados do MapBiomass, Sentinel-2, MOD11A1, CHIRPS e WorldClim/CMIP6, aplicou-se regressão linear múltipla e Redes Neurais Artificiais para estimar o NDVI e classificar a vegetação. Os resultados indicam forte pressão antrópica, com redução drástica de áreas preservadas, especialmente em rios e nascentes, e colapso total nas elevações mais críticas sob o cenário SSP5-8.5, comprometendo a qualidade hídrica.

**Palavras-chave:** Regressão Linear Múltipla. Rede Neurais. NDVI.

### 1 INTRODUÇÃO

A prognose de cenários futuros é o cerne para o planejamento ambiental, pois permite antecipar e orientar estratégias de conservação. Nesse processo, o monitoramento do uso e cobertura do solo é central para compreender a dinâmica antrópica e avaliar a degradação ambiental (KHWARAHM et al., 2021; AHMAD et al., 2023). Metodologias como a regressão linear múltipla têm sido amplamente utilizadas por conta de sua simplicidade, permitindo modelar indicadores de vegetação, como o NDVI (BERTOLIN et al., 2017), enquanto as Redes Neurais Artificiais (RNA) se destacam por identificar padrões não lineares e simular mudanças no uso da terra (KAMARAJ; RANGARAJAN, 2022; KHAN; SUDHEER, 2022).

A disponibilização de séries históricas pelo Projeto MapBiomass (2025) e o uso do NDVI como indicador de vigor e densidade da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007) fortalecem o monitoramento das alterações ambientais, subsidiando políticas de conservação. Nesse contexto, a microbacia do Alto Graipu, de importância estratégica para a



segurança hídrica regional (SAAE GUANHÃES, 2021). Portanto, o objetivo deste estudo é projetar a integridade da cobertura vegetal nas APPs da microbacia do Alto Graipu, através da combinação de uma simulação futura de uso do solo com a modelagem do NDVI sob diferentes cenários de mudança climática.

## 2 METODOLOGIA

O estudo foi conduzido na microbacia do Alto Graipu, localizada entre Guanhães e Sabinópolis (MG), área estratégica por abrigar o ponto de captação de água do SAAE (SAAE GUANHÃES, 2021). A delimitação da microbacia foi realizada a partir de dados SRTM (30 m), corrigidos para maior precisão hidrológica (FARR et al., 2007).

Foram utilizados dados de uso e cobertura do solo do MapBiomas (Coleção 10, ano 2024) e imagens Sentinel-2 para cálculo do NDVI, posteriormente reclassificado em cinco intervalos (<0,40 a >0,80). O Modelo Digital de Elevação Copernicus DSM (30 m) foi empregado para delimitar as Áreas de Preservação Permanente (APPs) conforme a Lei nº 12.651/2012, no ambiente GRASS GIS. Dados de temperatura foram obtidos do produto MOD11A1 (composição de 8 dias) e de precipitação do CHIRPS, que integra satélites e informações de estações meteorológicas diárias.

A simulação de cenários de uso do solo para 2100 foi realizada no QGIS com o plugin MOLUSCE. Mapas em intervalos de 20 anos serviram como base para treinar modelos de Rede Neural Artificial (RNA), considerando variáveis como altitude, declividade, proximidade de estradas e APPs. Para os cenários climáticos futuros, utilizaram-se dados do WorldClim/CMIP6 (2080–2100) nos cenários SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5.

A extração de dados ambientais foi feita a partir dos centroides das APPs (uso do solo, NDVI, precipitação, temperatura mínima e máxima). Aplicou-se regressão linear múltipla no software Weka 3.8.6, para se obter a estimativa de NDVI, gerando uma equação. Essa equação foi aplicada aos rasters dos cenários climáticos futuros, gerando mapas de NDVI projetados. Os resultados foram classificados em cinco categorias: (0) Água; (1) Degradado (NDVI <0,33); (2) Antrópico (0,33–0,66); (3) Antropizado em transição (uso do solo agrícola com NDVI >0,66); e (4) Preservado (classes naturais com NDVI >0,66).

## 3 RESULTADO E DISCUSSÃO

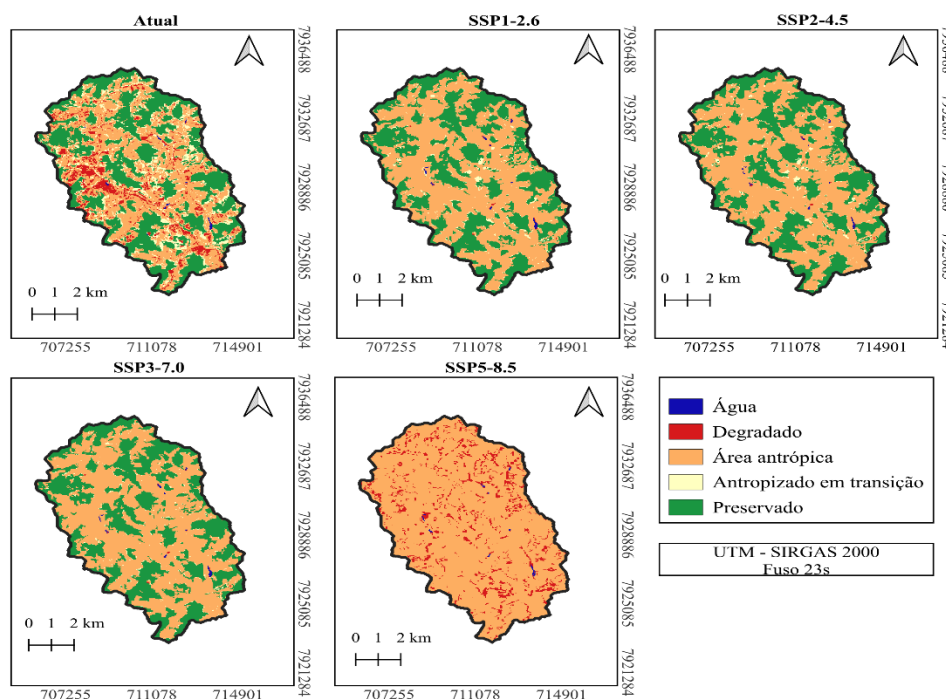


A validação da RNA apresentou alta concordância para simulação do uso e ocupação do solo ( $Kappa = 0,80$ ). Com a regressão linear múltipla, obteve-se a equação 1 de estimativa do NDVI ( $R = 0,698$ ;  $RMSE = 0,126$ ).

$$NDVI = -0.0178 * uso\_do\_solo + -0.0288 * temp\_max + -0.016 * tem\_min + 0.0006 * precipitacao + 1.0589 \quad (1)$$

A análise comparativa entre os cenários atual, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5 evidencia mudanças expressivas nos níveis de preservação na microbacia do Alto Graipu, que possui 1.244 ha distribuídos em APP de Topo de Morro (967,5 ha), APP de Rio (262,8 ha) e APP de Nascente (13,5 ha) (Figura 1).

Figura 1 – Estado de preservação em diversos cenários futuros



Fonte: Autores (2025).

Atualmente, as APPs de rio apresentam 170,63 ha sob uso antrópico e apenas 12,05 ha preservados. As projeções indicam intensificação dessa pressão, com expansão do uso antrópico superior a 240 ha nos cenários mais brandos. No SSP5-8.5, observa-se a eliminação completa das áreas preservadas e de transição, enquanto a área degradada aumenta para 51,33



ha, evidenciando risco ambiental. Segundo Pisani, Demarchi e Riedel (2016), a perda total de áreas preservadas e de transição em rios representa risco, reforçando o papel crucial das matas ripárias na proteção de corpos d'água.

As APPs de nascente, apesar de representarem apenas 13,5 ha, já apresentam 61% da área sob uso antrópico (7,95 ha) e apenas 1,04 ha preservados. No cenário mais pessimista, projeta-se a supressão completa da vegetação natural e um aumento de quase 200% da área degradada, comprometendo a recarga hídrica e a segurança do abastecimento de água. Corrêa et al. (2016) destacam que a degradação ou ausência de vegetação nas nascentes é um problema crítico para microbacias, aumentando a vulnerabilidade hídrica e ecológica.

Por fim, as APPs de topo de morro, que somam 967,5 ha, ainda se encontram em bom estado de conservação, com 83% da área preservada (737,86 ha). No entanto, o cenário SSP5-8.5 projeta colapso total, com conversão integral para uso antrópico (835,94 ha) e aumento de 340% da área degradada, elevando riscos de erosão e perda de solo. Estudos de Tambosi et al. (2015) e Oliveira, Francisco e Bohrer (2021) ressaltam que áreas de alta elevação são fundamentais para o aporte hídrico da bacia, e a preservação das florestas nativas nessas regiões influencia diretamente a quantidade e qualidade da água transportada. De forma geral, os resultados indicam que as APPs da microbacia do Alto Graipu estão sob crescente pressão antrópica, e cenários futuros, especialmente o SSP5-8.5, podem levar à degradação acentuada e ao colapso funcional dessas áreas, comprometendo serviços socioambiental das cidades afetadas. A modelagem espacial, integrando séries históricas de uso do solo, informações de precipitação, temperatura e NDVI, demonstrou ser uma ferramenta eficaz para subsidiar políticas de conservação e estratégias de restauração.

#### 4 CONCLUSÃO

A modelagem integrada de uso do solo, NDVI, temperatura e precipitação mostrou-se eficaz para projetar cenários futuros e identificar áreas críticas. Os resultados indicam que, entre 2080 a 2100, haverá uma redução significativa das áreas preservadas, especialmente APP, no cenário SSP5-8.5.



## REFERÊNCIAS

AHMAD, M. N. et al. The cellular automata approach in dynamic modelling of land use change detection and future simulations based on remote sensing data in Lahore Pakistan. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 89, n. 1, p. 47-55, 2023.

BERTOLIN, N. O. et al. Predição da produtividade de milho irrigado com auxílio de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 4, p. 1627, 2017.

CORRÊA, C. J. P. et al. Análise hidroambiental da microbacia do Pirajibu-Mirim, Sorocaba, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 4, p. 943-953, 2016

FARR, T. G. et al. The shuttle radar topography mission. **Reviews of Geophysics**, v. 45, n. 2, p. 1-13, 2007.

KAMARAJ, M.; RANGARAJAN, S. Predicting the future land use and land cover changes for Bhavani basin, Tamil Nadu, India, using QGIS MOLUSCE plugin. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 57, p. 86337-86348, 2022.

KHAN, A.; SUDHEER, M. Machine learning-based monitoring and modeling for spatio-temporal urban growth of Islamabad. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 25, n. 2, p. 541-550, 2022.

KHWARAHM, N. R. et al. Past and future prediction of land cover land use change based on earth observation data by the CA-Markov model: a case study from Duhok governorate, Iraq. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, n. 15, p. 1-14, 2021.

OLIVEIRA, T. G.; FRANCISCO, C. N.; BOHRER, C. B. A. Áreas de Preservação Permanente (APP) no topo de morros no estado do Rio de Janeiro: uma avaliação dos dispositivos legais em diferentes unidades geomorfológicas. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 491-514, 2021.

PISANI, R. J.; DEMARCHI, J. C.; RIEDEL, P. S. Simulação de cenário prospectivo de mudanças no uso e cobertura da terra na sub-bacia do rio Capivara, Botucatu-SP, por meio de Modelagem Espacial Dinâmica. **Cerrados**, v. 14, n. 2, p. 3-29, 2016.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed, 2007.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 10 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. 2025. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 02 out. 2025.

SAAE GUANHÃES. **Captação de água bruta**. 2021. Disponível em: <https://saaeguanhaes.com.br/pagina/view/28>. Acesso em: 02 out. 2025.

TAMBOSI, L. R. et al. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 29, n. 84, p. 151-162, ago. 2015.