

MODELAGEM DO USO DO SOLO PARA PREVISIBILIDADE EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DA MICROBACIA DO ALTO DO GRAIPU

Luiz Flávio Nunes Costa, Jonathan da Rocha Miranda

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Avenida Primeiro de Junho, 1043, Centro – 39705-000 - São João Evangelista-MG, Brasil, luiz.flavionunes02@gmail.com, jonathan.rocha@ifmg.edu.br

Resumo

Este estudo analisou as mudanças no uso do solo e nos valores de NDVI em Áreas de Preservação Permanente (APPs) da microbacia do Alto Graipu (MG), entre 2003 e 2023, e projetou cenários até 2100. Foram utilizados dados do Projeto MapBiomass, imagens Landsat e modelagem com Redes Neurais Artificiais no plugin MOLUSCE do QGIS. A validação indicou boa confiabilidade (Kappa 0,80 para uso do solo e 0,51 para NDVI). Os resultados apontaram redução acentuada do mosaico de agricultura, acompanhada pela consolidação da pastagem e expansão da formação florestal. O NDVI revelou tendência de maior vigor vegetativo, mas o avanço da pastagem em APPs representa risco à segurança hídrica regional. A restauração florestal e políticas públicas são fundamentais para a conservação dos recursos hídricos.

Palavras-chave: NDVI. Ocupação do solo. Rede Neural.

Área do Conhecimento: Engenharia Florestal.

Introdução

A projeção de cenários futuros constitui um instrumento fundamental para o planejamento ambiental, uma vez que permite antecipar impactos potenciais e subsidiar a formulação de estratégias de conservação. Entre os aspectos mais relevantes nesse processo, destaca-se o monitoramento do uso e cobertura do solo, variável chave para compreender a dinâmica antrópica e avaliar a degradação do ambiente (Khwarahm *et al.*, 2021; Ahmad *et al.*, 2023; Khan; Sudheer, 2022). Nesse contexto, metodologias baseadas em Redes Neurais Artificiais (RNA) têm demonstrado elevada capacidade para identificar padrões não lineares e simular cenários de mudanças no uso da terra, representando avanços significativos na modelagem espacial (Braga; Carvalho; Ludermit, 2007; Binoti *et al.*, 2015). Ferramentas de geoprocessamento, como o QGIS associado ao plugin MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation), incorporam tais algoritmos para projetar transformações na paisagem a partir de variáveis condicionantes, ampliando a precisão das análises (Ferreira; Ferreira, 2018).

O monitoramento contínuo das transformações ambientais é indispensável para compreender a dinâmica espaço-temporal da paisagem e identificar tendências de degradação ou recuperação. A disponibilização de séries históricas pelo Projeto MapBiomass (2025) possibilita uma avaliação consistente das alterações no uso e cobertura do solo ao longo do tempo, oferecendo subsídios técnicos para políticas públicas de conservação. Complementarmente, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) representa um indicador robusto do vigor e da densidade da vegetação, sendo amplamente adotado em estudos ambientais pela sua sensibilidade às modificações na cobertura vegetal (Ponzoni; Shimabukuro, 2007).

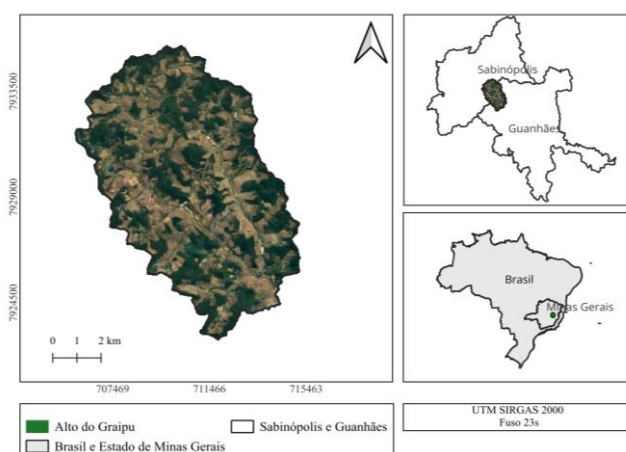
A aplicação dessas ferramentas adquire relevância particular na microbacia do Alto Graipu, região de importância estratégica para a segurança hídrica local, visto que suas nascentes e cursos d'água abastecem os sistemas de fornecimento de água das cidades vizinhas (Porto, 2008; SAAE Guanhães, 2021). Nesse cenário, a análise espacial das Áreas de Preservação Permanente (APPs) associada à avaliação da vegetação via NDVI representa uma abordagem integrada para mensurar os efeitos das pressões antrópicas sobre os recursos hídricos e a cobertura florestal. Assim, este estudo tem como objetivo avaliar as alterações no uso e cobertura do solo e nos valores de NDVI nas APPs da microbacia do Alto Graipu, comparando o ano base de 2023 a uma projeção para 2100.

Metodologia

2.1. Área de Estudo

A microbacia do Alto Graipu, localizada entre os municípios de Guanhões e Sabinópolis (MG), concentra o principal ponto de captação do Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), responsável pelo abastecimento das duas cidades (SAAE Guanhões, 2021). A região apresenta relevo forte-ondulado e alta suscetibilidade à erosão (Valeriano; Rossetti, 2006). Sua delimitação foi realizada a partir de dados SRTM (30 m), com correções de depressões artificiais para garantir maior precisão na modelagem hidrológica (Farr *et al.*, 2007), conforme representado na Figura 1.

Figura 1 – Mapa de localização.



Fonte: Autores (2025).

2.2. Aquisição e Processamento de Dados

Os dados de uso e cobertura do solo referentes aos anos de 2003 e 2023 foram obtidos da Coleção 9 do Projeto MapBiomass. Para o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), utilizaram-se imagens dos satélites Landsat 5 (sensor TM), no ano de 2003, e Landsat 8 (sensor OLI), em 2023. Após o processamento, os valores contínuos de NDVI foram reclassificados em seis intervalos, definidos da seguinte forma: classe 1 (-1 a 0,1), classe 2 (0,1 a 0,3), classe 3 (0,3 a 0,4), classe 4 (0,4 a 0,5), classe 5 (0,5 a 0,6) e classe 6 (0,6 a 1). Essa reclassificação resultou em mapas de NDVI discretos para ambos os anos, o que possibilitou a análise de transição.

A base de dados foi complementada com um Modelo Digital de Elevação (MDE) proveniente do Copernicus Global DSM 30m e com a malha viária disponibilizada pelo OpenStreetMap (OSM). Todo o material cartográfico foi reprojetoado para o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 / UTM, fuso 23S, e os dados matriciais foram padronizados para uma resolução espacial de 29,3073 x 29,3073 metros.

Por fim, as APPs foram delimitadas de acordo com a Lei nº 12.651/2012 (Brasil, 2012). Utilizando o GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), aplicou-se a MDE a ferramenta *r.watershed* para gerar camadas hidrológicas de bacias e segmentos de fluxo, convertidas em formato vetorial com *r.to.vect*. As APPs de rio foram obtidas por meio de buffer de 30 metros ao longo da rede de drenagem, enquanto as APPs de nascente foram delimitadas a partir do término da rede de drenagem, aplicando um buffer com um raio de 50 metros. Para as APPs de topo de morro, foi calculada a declividade média da área, valores superiores a 25° caracterizaram morros. O desnível entre base e topo foi mensurado, e o terço superior da altura definiu a área de APP, posteriormente convertida em polígono vetorial.

2.3. Modelagem

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

A análise, modelagem e simulação das mudanças para o ano de 2100 foram realizadas com o plugin MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation) no QGIS. Os mapas de uso e cobertura do solo e de NDVI de 2003 (inicial) e 2023 (final) foram inseridos como dados de entrada e saída para o treinamento do modelo. As variáveis espaciais utilizadas para explicar as transições foram os mapas de proximidade das APPs, proximidade das estradas, altitude e declividade. Previamente à modelagem, foi realizada uma análise de correlação de Pearson entre as variáveis para verificar a sua relação.

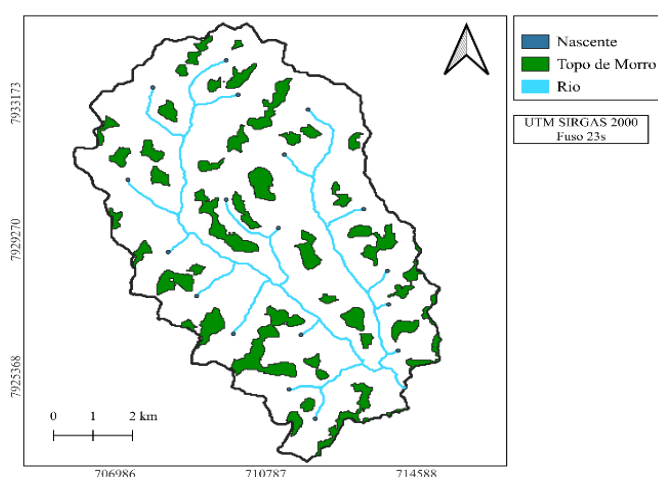
A inferência do potencial de transição foi feita por meio de uma Rede Neural Artificial (RNA) do tipo perceptron multi-camada. Foram treinados dois modelos distintos. O primeiro, para a projeção do uso do solo, utilizou os seguintes parâmetros: taxa de aprendizagem de 0,001, 150 iterações, 10 camadas ocultas e momentum de 0,100. O segundo modelo, para a projeção do NDVI, foi treinado com uma taxa de aprendizagem de 0,005, 150 iterações, 8 camadas ocultas e momentum de 0,035.

A confiabilidade dos modelos foi aferida por meio de validação. Para isso, o modelo foi treinado com os dados de 2003 para simular o mapa de 2023, e o resultado foi comparado com o mapa real de 2023 (oriundo do MapBiomass). O treinamento para o uso do solo alcançou uma precisão geral de -0,00052, erro mínimo geral de 0,02101 e um coeficiente Kappa de validação de 0,800080, indicando uma alta concordância. Para o NDVI, a precisão geral foi de -0,00419, erro mínimo geral de 0,05 e Kappa de 0,51288. Após a validação, os mapas simulados de uso do solo e de NDVI para o ano de 2100.

Resultados

As APPs totalizaram 1.244 ha na microbacia do Alto Graipu, cujo arranjo espacial está ilustrado na Figura 2. Entre as categorias delimitadas, a APP de Topo de Morro correspondeu à maior extensão territorial, com 967,5 ha, seguida pela APP de Rio com 262,8 ha e, por fim, pela APP de Nascente, com 13,5 ha.

Figura 2 – Mapa das APPs

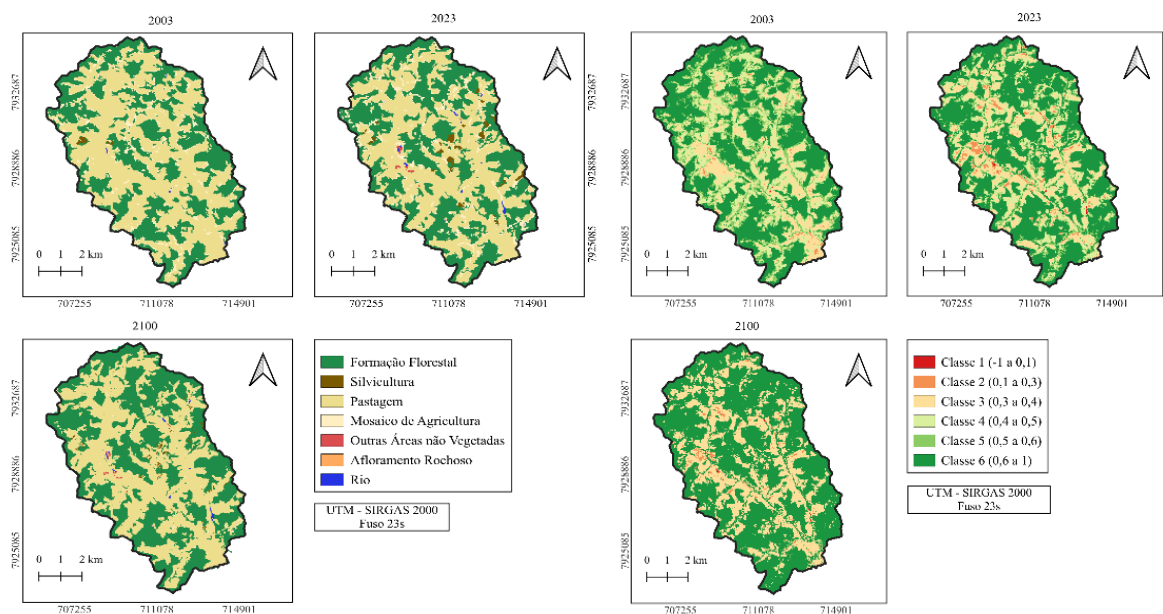


Fonte: Autores (2025).

A análise comparativa entre os anos de 2003, 2023 e a simulação para 2100 evidencia mudanças consideráveis tanto no uso e ocupação do solo quanto no NDVI, conforme ilustrado na Figura 3. Alterações expressivas também foram verificadas dentro das APPs, detalhadas na Tabela 1.

Figura 3 – Uso e ocupação do solo e NDVI do Alto do Graipu.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO



Fonte: Autores (2025).

Na APP de Rio, a área total analisada de 262,8 ha. Em 2023, a classe predominante era a pastagem, com 172,21 ha, seguida por mosaico de agricultura, com 65,21 ha. A simulação para 2100 projeta uma expansão da pastagem para 223,55 ha, um aumento de 29,8%. Em contrapartida, a classe mosaico de agricultura sofre uma redução drástica para 7,16 ha, uma perda de 89%. A formação florestal também apresenta um crescimento, passando de 19,83 ha para 27,75 ha.

Para a APP de Topo de Morro, que totaliza 967,5 ha, a formação florestal era dominante em 2023, com 813,17 ha. O cenário para 2100 indica uma consolidação dessa classe, que se expande para 870,37 ha, um aumento de 57,2 ha. A alteração mais expressiva é o mosaico de agricultura de que decresce de 50,65 ha para apenas 0,32 ha, uma redução acentuada de 99,4%. A silvicultura também apresenta uma diminuição acentuada, de 11,68 ha para 2,45 ha.

Na APP de Nascente, ocorre uma dinâmica semelhante. A pastagem aumenta de 8,34 ha para 10,60 ha, enquanto a formação florestal cresce sucintamente de 2,43 há para 2,95 ha. Novamente, o Mosaico de Agricultura é a que sofre a maior redução, passando de 3,08 ha para 0,35 há.

A análise do NDVI corrobora a tendência de qualidade da vegetação. No cenário de 2100, observa-se uma migração das classes de NDVI para valores mais altos, predominantemente para a classe 6, que indica maior vigor vegetativo. Isso é consistente com a conversão de áreas de mosaico de agricultura para pastagem e formação Florestal. A alteração mais notável em todas as APPs analisadas é, portanto, a expressiva redução da classe mosaico de agricultura, indicando uma tendência de consolidação da pastagem, principalmente nas APPs de Rio e Nascente, e na floresta da APP de Topo de Morro.

Tabela 1 – Área ocupada por APP e NDVI do Alto do Graipu

Uso do solo	Rio		Topo de Morro		Nascente	
2023	Area (ha)	NDVI	Area (ha)	NDVI	Area (ha)	NDVI
Formação Florestal	19,83	6	813,17	6	2,43	6
Silvicultura	0,04	6	11,68	6	-	-
Pastagem	172,21	5	92,01	6	8,34	4
Mosaico de Agricultura	65,21	6	50,65	6	3,08	6
Outras Áreas não Vegetadas	0,02	2	-	-	-	-
Afloramento Rochoso	0,03	4	-	-	-	-
Rio, Lago e Represa	5,44	1	-	-	0,05	4

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

2100	Area (ha)	NDVI	Area (ha)	NDVI	Area (ha)	NDVI
Formação Florestal	27,75	6	870,37	6	2,95	6
Silvicultura	0,01	5	2,45	6	-	-
Pastagem	223,55	6	93,49	6	10,60	6
Mosaico de Agricultura	7,16	6	0,32	6	0,35	6
Outras Áreas não Vegetadas	0,06	3	-	-	-	-
Afloramento Rochoso	0,00	6	-	-	-	-
Rio, Lago e Represa	4,26	1	-	-	-	-

Discussão

Kamaraj e Rangarajan (2022), com a ferramenta MOLUSCE, conseguiram prever futuras mudanças no uso do solo para 2025 e 2030 na bacia de Bhavani na Índia para os dois períodos de tempo, 2005 e 2015, com o aumento da área cultiva na prognose. Enquanto isso, no estudo na província de Duhok no Iraque, do Khwarahm *et al.*, (2021) a densidade florestal e área árida deve consideráveis diminuições dando lugar a uma expansão urbana, entre a classificação de 2017 a modelagem de 2060.

A definição da área de estudo e a análise de seu histórico de ocupação evidenciam uma tendência de expansão de determinadas classes na modelagem. Conforme observado por Brizolari e Pisani (2024), as alterações associadas à cultura da cana-de-açúcar, classe predominante no estudo, foram mais significativas em comparação a outras culturas menos representativas, seguindo o padrão indicado pela camada de referência. Os autores ressaltam, ainda, que a seletividade dos modelos pode suprimir aspectos secundários do ambiente, como classes menos retratada, a fim de enfatizar elementos mais estruturais da realidade. O que pode explicar a redução acentuada das áreas classificadas como mosaico de agricultura, convertidas principalmente em pastagens e formações florestais, colaborando com a transição para as classes maiores de NDVI.

As projeções que apontam para o aumento da cobertura de pastagens em APPs configuram um cenário crítico. Segundo Carneiro (2008), o manejo inadequado dessas áreas favorece processos erosivos intensos, cujo material sedimentar tende a ser depositado nos leitos fluviais. A substituição da vegetação nativa por usos agropecuários também compromete a infiltração da água pluvial, em decorrência da compactação do solo, além de potencializar a contaminação de aquíferos pelo uso de defensivos agrícolas dissolvidos e percolados no perfil do solo (Pisani; Demarchi; Riedel, 2016).

Nesse contexto, torna-se imprescindível a adoção de medidas de gestão e controle da ocupação do solo em APPs situadas no Alto Graipu. A formulação e implementação de políticas públicas voltadas à restauração da vegetação nativa são estratégicas para garantir a manutenção da drenagem, a recarga dos mananciais e, sobretudo, a preservação do direito ao uso da água pelas gerações futuras.

Conclusão

O estudo demonstrou que, até 2100, a microbacia do Alto Graipu tende à redução expressiva do mosaico de agricultura, com consolidação da pastagem e expansão da formação florestal. Embora os valores de NDVI indiquem maior vigor vegetativo, o avanço de pastagens em APPs representa risco à segurança hídrica regional. A restauração florestal e a adoção de políticas ambientais, mostram-se fundamentais para garantir a resiliência ecológica da microbacia.

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.

BINOTI, M. L. M. S. et al. Prognose em nível de povoamento de clones de eucalipto empregando redes neurais artificiais. **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 97-105, 2015.

A Ciência do **NANO** e seu impacto transformador no **MACRO**

BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P. L. F.; LUDERMIR, T. B. **Redes Neurais Artificiais: teoria e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 28 maio 2012.

BRIZOLARI, G. R.; PISANI, R. J. Modelagem Espacial Dinâmica para a concepção de cenários prospectivos de uso e cobertura da terra no município de Araraquara–SP. **Revista Cerrados**, v. 22, n. 01, p. 316-342, 2024.

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

FERREIRA, J. S. A.; FERREIRA, A. P. L. Análise de ferramentas de suporte tecnológico para simulação da dinâmica da cobertura e uso do solo. In: WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO APLICADA, 8., 2018, Bagé. Anais [...]. Bagé: Unipampa, 2018. p. 1-10.

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.

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**, p. 111-118, 2007.

PORTO, M. F. A. Gestão de Bacias Hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

PROJETO MAPBIOMAS. Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. 2025. Acessado em 22 ago. 2025. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 22/08/25.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project, 2024. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 22/08/25.

SAAE Guanhões. Captação de água bruta. Guanhões, 2021. Disponível em: <https://saaeguanhaes.com.br/pagina/view/28>. Acesso em 22/08/25.