

CONFIGURAÇÃO HIDROGEOMORFOLÓGICA E CONECTIVIDADE COM ÁREAS ÚMIDAS NA BACIA DO RIO SAMBURÁ, ALTO SÃO FRANCISCO (MG)

Harold George Monteiro Ferreira ¹

Ana Júlia da Cruz Campos ²

Lorena Souza Alves ³

Bruna Gomes Lacerda ⁴

Antônio Pereira Magalhães Júnior ⁵

RESUMO

Este trabalho analisa a dinâmica hidrogeomorfológica e sua relação com as áreas úmidas da bacia do rio Samburá (MG), inserida no alto curso do rio São Francisco. A pesquisa parte do pressuposto de que a interação entre relevo, uso e cobertura da terra e rede de drenagem controla a produção e o transporte de sedimentos, sendo as áreas úmidas sistemas reguladores desses fluxos. Como objetivo, buscou-se estimar a perda de solo e avaliar a conectividade hidrossedimentar da paisagem, com ênfase no papel das áreas úmidas como zonas de retenção. Metodologicamente, aplicou-se a Equação Universal Revisada de Perda de Solo (RUSLE) em ambiente *Google Earth Engine*, utilizando dados de relevo, solos, precipitação (CHIRPS) e vegetação (NDVI), com resolução espacial de 30 m. A conectividade foi avaliada por meio do Índice de Conectividade (IC), derivado de parâmetros geomorfométricos. Adicionalmente, foram mapeadas 1.015 áreas úmidas por interpretação visual de imagens de alta resolução. Os resultados indicam distribuição heterogênea da erosão, com maiores taxas associadas a encostas íngremes sob uso agropecuário intensivo, enquanto fundos de vale e áreas úmidas apresentam baixos valores, atuando como zonas de amortecimento. O IC indicou maior conectividade sedimentar em setores declivosos conectados à drenagem e baixa conectividade em regiões próximas às áreas úmidas, que funcionam como barreiras à transferência de sedimentos.

Palavras-chave: Hidrogeomorfologia; Zonas Úmidas; Conectividade Hidrossedimentar; RUSLE.

INTRODUÇÃO

A dinâmica hidrossedimentar em bacias hidrográficas do Planalto Central Brasileiro é reflexo das interações entre uso da terra, compartimentos geomorfológicos e processos hidrológicos (Facury *et al.*, 2025; Souza *et al.*, 2021). Na região do Alto São Francisco, a bacia do rio Samburá (MG) insere-se em contexto de transição entre áreas de chapadas, vertentes dissecadas e fundos de vale que abrigam extensas zonas úmidas. Essas áreas úmidas (AUs) configuram-se como sistemas

¹ Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, haroldgeorge@ufmg.br;

² Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, anajuhj@ufmg.com.br;

³ Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, lorenasa@ufmg.br;

⁴ Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, brunalacerda0804@gmail.com;

⁵ Prof. Titular do Departamento de Geografia da UFMG – antonio.magalhaes.ufmg@gmail.com.

ameaçados em escala global, sobretudo em decorrência do crescimento urbano, do assoreamento, da drenagem e da poluição (Carvalho & Ozório, 2007; Felipe, Gomes e Magalhães Júnior, 2023; Fluet-Chouinard *et al.*, 2023). Nesse contexto, destaca-se a compreensão das interações entre o uso e a cobertura da terra e as AUs, especialmente sob a perspectiva hidrossedimentar, uma vez que alterações no entorno tendem a modificar os padrões de escoamento superficial, intensificar processos erosivos e aumentar o aporte de sedimentos (Ferreira *et al.*, 2025). Tais mudanças podem comprometer a dinâmica hidrológica e o balanço sedimentar desses ambientes (Borges, 2012). Além disso, destaca-se que essa mesma dinâmica hidrossedimentar também atua na gênese e evolução das AUs, visto que processos de deposição sedimentar, variações no regime hidrológico e condicionantes geomorfológicos controlam a formação, a manutenção e a distribuição desses ambientes na paisagem (Gomes e Magalhães Júnior, 2015; Junk *et al.*, 2024).

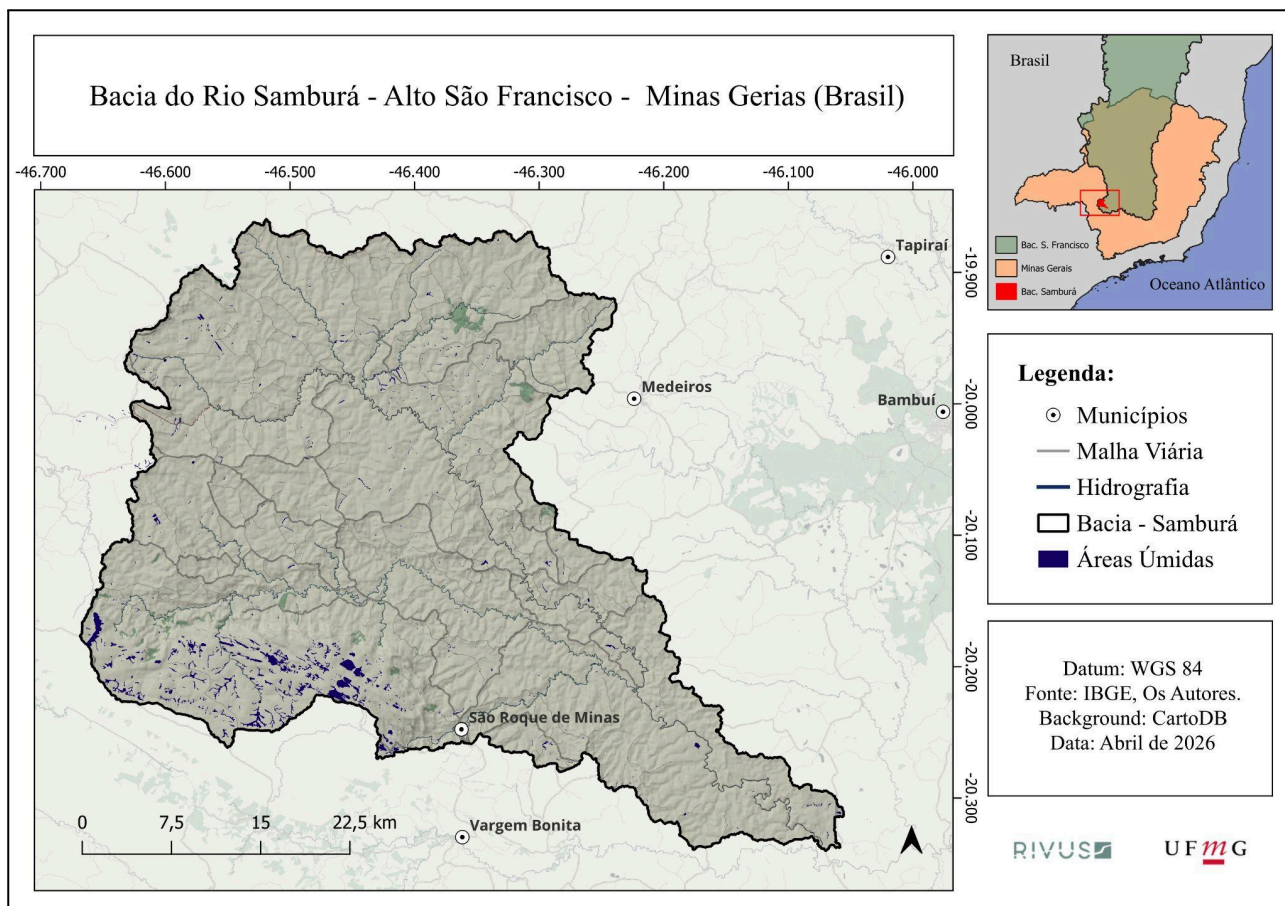
A bacia do rio Samburá tem posição estratégica na recarga dos sistemas aquíferos regionais e relevante representatividade quanto a conflitos entre produção agropecuária e conservação de nascentes do São Francisco. Estudos pretéritos (Simões *et al.*, 2021; Lanza, 2011; Freitas *et al.*, 2025) apontam incremento na produção de sedimentos e degradação em cabeceiras de drenagem do Alto São Francisco, mas carecem de abordagens que unifiquem a quantificação espacial da erosão potencial com a avaliação da conectividade entre áreas-fonte e AUs. Diante disso, a presente pesquisa adota como hipótese que, além dos fatores de erodibilidade, topografia e configuração da rede de drenagem, a dinâmica hidrossedimentar da bacia é controlada pela presença de “barreiras naturais” (AUs) que interrompem ou atenuam a transferência de sedimentos para os canais de ordem superior.

Objetiva-se, portanto, estimar e analisar a configuração hidrogeomorfológica e a conectividade com áreas úmidas na bacia do rio Samburá, tendo como eixos metodológicos a aplicação da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE), para estimativa da erosão potencial, e do Índice de Conectividade (IC).

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Samburá localiza-se na porção sudoeste do estado de Minas Gerais, inserida no contexto fisiográfico do Alto curso da bacia do rio São Francisco e abrangendo três municípios: São Roque de Minas, Medeiros e Bambuí (Figura 1). A área de estudo situa-se nas proximidades da Serra da Canastra, importante divisor de águas regional e reconhecida por abrigar as nascentes do rio São Francisco, um dos principais sistemas hidrográficos do Brasil.

Figura 1: Mapa de Localização - Bacia do Rio Samburá - MG



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Do ponto de vista geográfico, a bacia integra um sistema de drenagem típico de áreas de planalto, com predominância de relevo dissecado e altitudes variando entre 660 e 1.500 m (SRTM-2000). O relevo é predominantemente acidentado, com escarpas, chapadas e vales encaixados associados a litologias quartzíticas e metassedimentares (SISEMA, 2026).

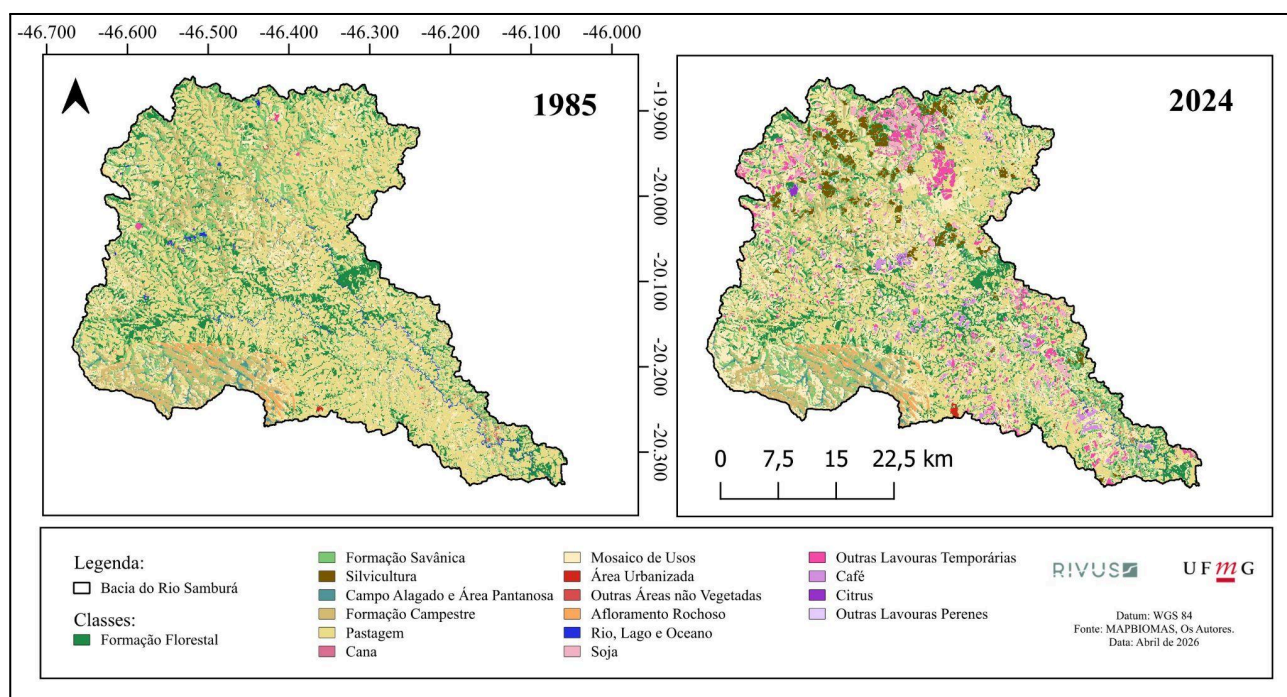
O regime climático regional é definido pela sazonalidade típica do domínio tropical, com dois períodos distintos: uma estação chuvosa, concentrada entre outubro e março, e um período de estiagem acentuada, de abril a setembro. De acordo com a classificação de *Köppen-Geiger*, a área abrange as tipologias Cwa (subtropical úmido) e Cwb (subtropical de altitude), conforme sistematizado por Alvares *et al.* (2013).

A bacia está inserida, majoritariamente, no domínio do Cerrado, com fitofisionomias como campo limpo, campo sujo e cerrado *stricto sensu*. A presença de fragmentos de Mata Atlântica destaca o caráter de ecótono da região, cenário frequente no Alto curso do rio São Francisco.

No que tange aos aspectos pedológicos, predomina-se solos profundamente ou moderadamente intemperizados, como os Latossolos e Cambissolos, geralmente associados à alta suscetibilidade à erosão, especialmente na presença de um horizonte ‘C’ exposto (Reis *et al.*, 2025). Em áreas de relevo mais acidentado, podem ocorrer Neossolos, rasos e associados ao substrato rochoso da Serra da Canastra (SISEMA, 2026).

Sob a perspectiva econômica, a bacia insere-se em região com forte vocação agropecuária (Figura 2), com destaque para cultivos de soja, milho e café (MAPBIOMAS, 2024).

Figura 2: Uso e Cobertura da Terra - Bacia do Rio Samburá - MG



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

MATERIAIS E MÉTODO

A perda média anual de solo (A) foi estimada por meio da Equação Universal Revisada de Perda de Solo (RUSLE), conforme descrito por Renard *et al.* (1997):

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad [1]$$

O processamento foi realizado no *Google Earth Engine*, com resolução espacial de 30 m e sistema de referência SIRGAS 2000 / UTM zona 23S.

O fator LS foi derivado do Modelo Digital de Elevação (MDE), conforme a metodologia de Desmet & Govers (1996). O fator K foi obtido a partir de dados pedológicos da EMBRAPA, convertidos para formato *raster* com base na erodibilidade das classes de solo. O fator R foi estimado utilizando a série CHIRPS (2004–2023), a partir da precipitação média anual.

O fator C foi calculado a partir do NDVI derivado de imagens do Sentinel-2 (2019–2023), com base na formulação de Van der Knijff J.M. *et al.* (1999). O fator P foi fixado em 1, assumindo o pior cenário em que há a ausência de práticas conservacionistas. A integração dos fatores resultou no mapa de perda de solo ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$).

O Índice de Conectividade (IC) foi calculado a partir do Modelo Digital de Elevação, conforme Cavalli *et al.* (2013), com base em Borselli *et al.* (2008). O fator de ponderação (W) foi derivado da rugosidade topográfica, estimada pela topografia residual e pelo desvio padrão local da elevação, sendo normalizado entre 0,001 e 1 e utilizado como parâmetro de impedância ao escoamento superficial. O IC expressa a relação entre os componentes de conectividade a montante e a jusante, permitindo identificar áreas com maior potencial de transferência de sedimentos para a rede de drenagem.

Ademais, o mapeamento das áreas úmidas foi realizado por meio de vetorização manual em ambiente SIG, utilizando o *software* QGIS. A delimitação das feições baseou-se na interpretação visual de imagens de alta resolução do *Google Earth*, complementadas por imagens do satélite sino-brasileiro CBERS-4A para o ano de 2025 e com resolução de 2 m/pixel. O processo considerou elementos como tonalidade, textura, padrão e contexto geomorfológico, permitindo a identificação de áreas com características associadas a ambientes hidromórficos. Ao todo, foram delimitadas 1.015 AUs, com predominância espacial concentrada na região da Serra da Canastra.

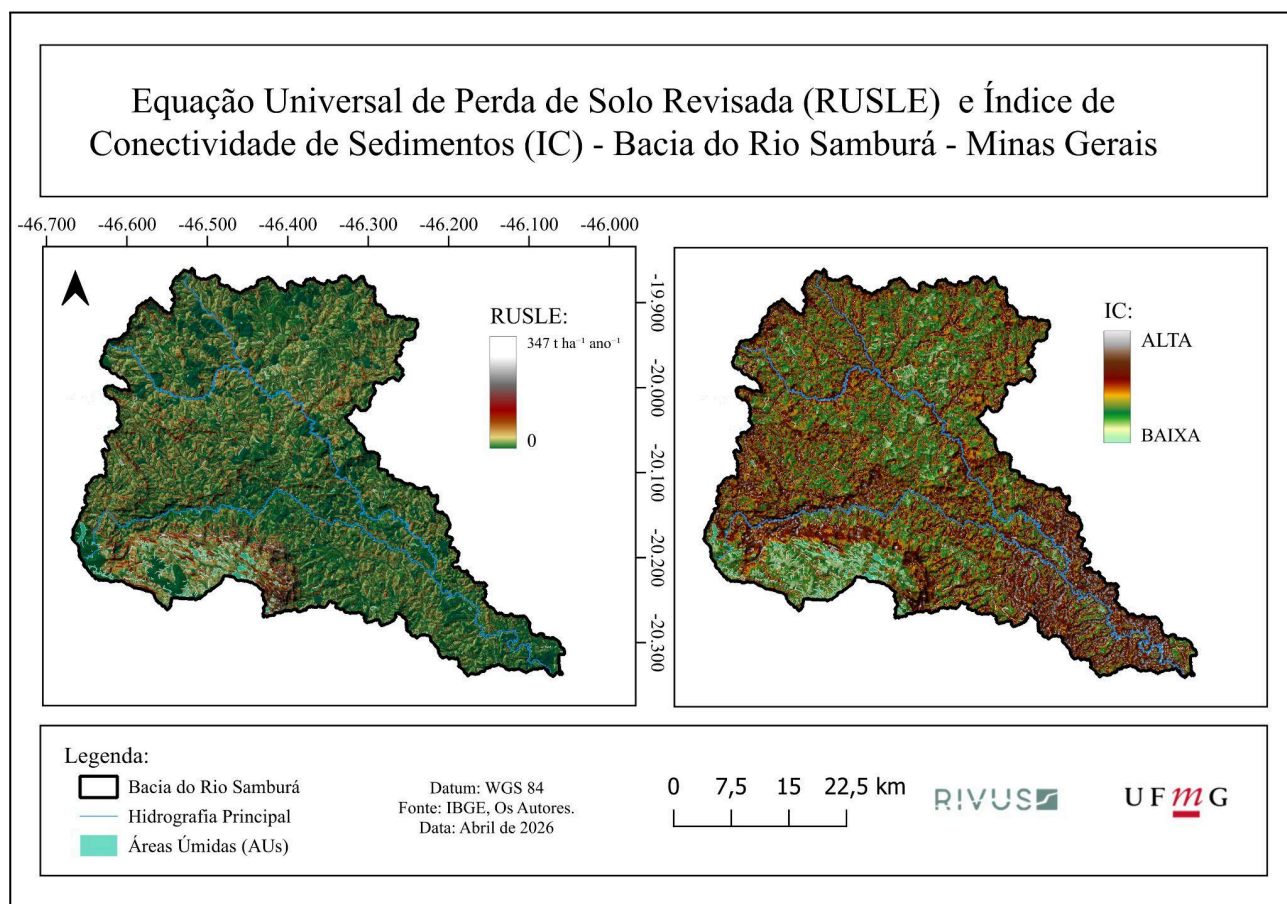
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estimativa de perda de solo por meio da RUSLE indicou distribuição espacial heterogênea da erosão potencial na bacia do rio Samburá. Valores elevados concentram-se em setores de relevo acentuado sob uso agropecuário intensivo, localizados predominantemente em vertentes com pouca cobertura vegetal. O padrão observado é resultado da interação entre o fator topográfico (LS) e o fator uso e cobertura da terra (C) na intensificação dos processos erosivos.

Áreas de fundo de vale e zonas de baixa declividade registraram taxas reduzidas de perda de solo. Esses compartimentos atuam na dinâmica hidrossedimentar da bacia, funcionando como áreas de retenção e amortecimento no transporte de sedimentos.

A análise do Índice de Conectividade (IC) corrobora essa interpretação. Setores com maior potencial de transferência de sedimentos coincidem com encostas íngremes conectadas à rede de drenagem. Regiões de baixa conectividade espacial associam-se à ocorrência de AUs. Os dados (Figura 3) sugerem que essas feições atuam como barreiras à propagação de fluxos hidrossedimentares, reduzindo a conectividade funcional da paisagem por meio da retenção de água e sedimentos.

Figura 3: RUSLE e IC - Bacia do Rio Samburá - MG

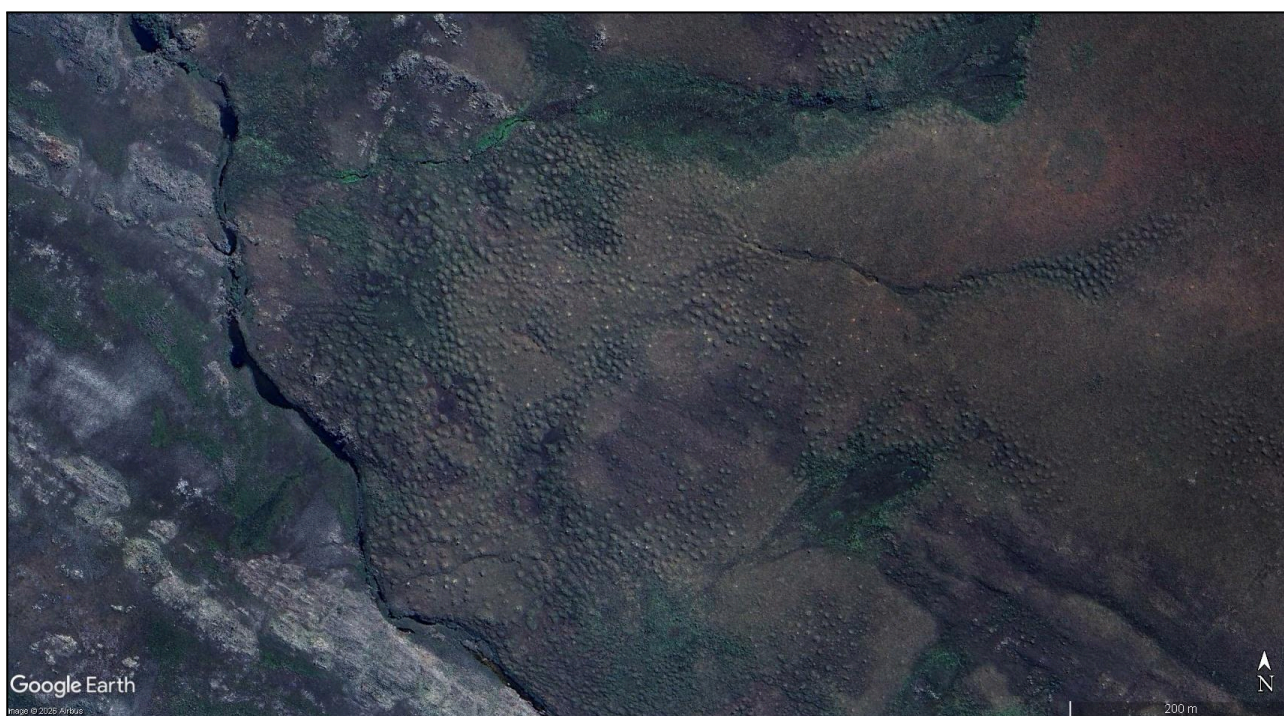


Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

O mapeamento delimitou 1.015 AUs, com concentração espacial na Serra da Canastra (Figura 1). Entre as tipologias mapeadas, predominam os campos de murundus que são caracterizados por micro-relevos em montículos intercalados por depressões sazonalmente inundáveis na paisagem (Figura 4). A formação dessas estruturas resulta da interação entre processos pedogenéticos, atividade biológica (especialmente de térmitas como os cupins), oscilações do lençol freático e dinâmica de saturação hídrica. A hipótese mais aceita propõe que sua origem esteja relacionada à bioturbação sequencial por térmitas (Viana, 2025). Nesse processo, a

colonização inicial por *Armitermes cerradoensis* em áreas saturadas fornece a base para a ocupação subsequente por *Cornitermes synderi* (menos tolerante à saturação hídrica), cuja atividade construtiva e posterior degradação do termiteiro elevam progressivamente o montículo na busca dos cupins por refúgio do solo saturado (Viana, 2025). Outra hipótese levantada por Baptista *et al.* (2013) propõe que os campos de murundus se formam por erosão diferencial e acúmulo de sedimentos em ambiente hidromórfico, onde a mobilização do ferro origina plintita. Sob condições oxidantes, há a tendência de formação de couraça laterítica colonizada por gramíneas, que retêm sedimentos. As áreas adjacentes, erodidas, deixam os murundus como feições residuais da superfície original.

Figura 4: Campos de Murundus - Serra da Canastra - MG



Extraída do software *Google Earth*® em 26 de abril de 2026.

Na perspectiva hidrossedimentar, os campos de murundus operam como zonas de armazenamento temporário de água e sedimentos. A microtopografia dissipa a energia do escoamento superficial, reduz a capacidade de transporte e favorece a deposição (Viana, 2025). A saturação hídrica do solo e a cobertura vegetal adaptada mantêm taxas elevadas de infiltração e retenção, condizentes com áreas de baixa conectividade.

De modo geral, a distribuição espacial dos processos erosivos na bacia está condicionada, sobretudo, à conexão entre os compartimentos do relevo, os padrões de uso e cobertura da terra e a configuração da rede de drenagem. A aplicação da RUSLE resultou em uma taxa média de perda de solo de 22,32 t/ha/ano, ao passo que os valores máximos atingiram 347,10 t/ha/ano. Esses resultados apontam para a existência de áreas com elevada suscetibilidade à degradação, associadas, em geral, a encostas mais íngremes, menor proteção vegetal e maior conectividade hidrológica, o que potencializa a remoção e o transporte de sedimentos no sistema. Em contraste, setores de baixa declividade, notadamente em fundos de vale e às AUs, apresentam menores taxas de perda de solo, configurando-se como zonas de retenção e amortecimento do fluxo hidrossedimentar.

A partir da análise dos resultados é possível constatar que a dinâmica e configuração hidrogeomorfológica da bacia do rio Samburá é condicionada pela interação entre relevo, uso da terra e distribuição de áreas úmidas. As AUs modulam a conectividade da paisagem ao reter sedimentos e regular fluxos hidrológicos. Intervenções que impliquem drenagem dessas áreas ou alteração do uso da terra no entorno podem aumentar a conectividade de sedimentos e acelerar processos de degradação na bacia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do Índice de Conectividade e do modelo RUSLE demonstrou o potencial das AUs na organização espacial dos fluxos hidrossedimentares, atuando como elementos de descontinuidade que reduzem a eficiência da transferência de sedimentos em direção à rede de drenagem. Nesse contexto, a identificação das áreas úmidas (com predominância de campos de murundus) reforça uma contribuição desses sistemas na modulação dos fluxos superficiais, favorecendo a retenção de sedimentos e a dissipação da energia do escoamento.

Por fim, destaca-se que, assim como mencionado por Borges (2012), mudanças no uso e cobertura da terra, sobretudo aquelas relacionadas à expansão das atividades agropecuárias e à drenagem de áreas úmidas, tendem a promover o aumento da conectividade hidrossedimentar da paisagem, possibilitando a transferência mais eficiente de sedimentos para a rede de drenagem principal. Esse processo tem intensificado a mobilização de materiais e ampliando os níveis de degradação da bacia. Portanto, a proteção e manutenção das AUs contribui para a atenuação dos processos erosivos, para a regulação do funcionamento hidrossedimentar do sistema e ajuda a garantir a continuidade dos serviços ecossistêmicos por elas desempenhados.

AGRADECIMENTOS

Ao grupo de pesquisa Geomorfologia e Recursos Hídricos – RIVUS da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de pesquisa ao último autor.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, p. 711-728, 2013.
- BAPTISTA, G. de M.; CORRÊA, R. S.; SANTOS, **Perseu Fernando dos. Campos de murundus da Fazenda Água Limpa da UnB: hipóteses de origem**. Revista do CEAM, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/revistadoceam/article/view/10076>>. Acesso em: 11 de abril de 2026.
- BORGES, F.A. **Caracterização temporal das áreas úmidas e de preservação permanente da porção de alto e médio curso da bacia hidrográfica do Rio Uberabinha MG com a aplicação de técnicas de geoprocessamento**. Instituto de Geografia, UFU. Minas Gerais, 2012.
- BORSELLI, L.; CASSI, P.; TORRI, D. **Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment**. Catena, 2008.
- CARVALHO, A. B. P.; OSÓRIO, C. P. **Avaliação sobre os banhados do Rio Grande do Sul, Brasil**. In: Revista de Ciências Ambientais, Canoas, v.1, n.2, p. 83 a 95, 2007.
- CAVALLI, M. *et al.* **Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments**. Geomorphology, v. 188, 2013.
- EARTHDATA (NASA). **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)**. Disponível em: <https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/srtm>. Acesso em 02 de abril de 2026.
- FACURY, D., BARROS, L., & JÚNIOR, A. (2025). **RELAÇÕES ENTRE A DINÂMICA FLUVIAL QUATERNÁRIA E A CONFIGURAÇÃO DO RELEVO NO PLANALTO CENTRAL BRASILEIRO: ANÁLISES A PARTIR DOS ARQUIVOS FLUVIAIS DEPOSICIONAIS E MORFOLÓGICOS**. Caminhos de Geografia. <https://doi.org/10.14393/rcg2610576928>.
- FELIPPE, M. F.; GOMES, C. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Nascentes e áreas úmidas**. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A.; LOPES, F. W. A. *Recursos hídricos: as águas na interface sociedade-natureza*. São Paulo, 2023. cap. 5, p. 89-102.
- FERREIRA, H. G. M.; REIS, A. N. F. ; PIZANI, F. M. C. ; NOBREGA, R. A. A. ; MACEDO, D. R. ; OLIVEIRA, C. V. **IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO: UM ESTUDO SOBRE O USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA DE IBIRITÉ-MG**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2025, Salvador (BA). Mudança de uso e cobertura da terra, 2025.

FLUET-CHOUINARD, E.; STOCKER, B. D.; ZHANG, Z.; MALHOTRA, A.; MELTON, J. R.; POULTER, B.; *et al.* **Extensive global wetland loss over the past three centuries.** Nature, 2023.

FREITAS, M. S.; PEREIRA, G.; FERREIRA NETO, J. B.; CALMON, A. V. V.; RUFINO, P. R.. **Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio São Francisco nos anos 1985 e 2021.** Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 26, n. 105, p. 36–51, jun. 2025.

GOMES, Cecília Siman; MAGALHÃES JUNIOR, Antônio Pereira. **Conceptual framework on wetlands in Brazil: challenges and expert opinions.** Boletim Goiano de Geografia, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 484–505, set./dez. 2017.

JUNK, W. J.; CUNHA, C. N. **Inventário das Áreas Úmidas Brasileiras.** Cuiabá, 2024.

LANZA, Daniel Santana. **Diagnóstico da erosão laminar na alta e média bacia do rio Paraopeba.** 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia – Análise Ambiental) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011

MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil).** 2024. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 2 abr. 2026.

REIS, A. N. F. ; FERREIRA, H. G. M. ; PIZANI, F. M. C. ; OLIVEIRA, C. V. ; NOBREGA, R. A. A. ; MACEDO, D. R. . **Relação entre áreas de solo exposto e classe de solo, associadas às classes de uso e cobertura da terra na bacia da lagoa de Ibitaré - MG.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2025, Salvador (BA). Iniciação Científica - Pôster, 2025.

RENARD, K. G. *et al.* **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).** Washington: USDA, 1997.

SIMÕES, Kauem; CONDÉ, Rita de Cássia Cerqueira; ROIG, Henrique Llacer; CICERELLI, Rejane Ennes. **Application of the SWAT hydrological model in flow and solid discharge simulation as a management tool of the Indaia River Basin, Alto São Francisco, Minas Gerais.** Ambi-Agua, Taubaté, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2694>

SISEMA. **Infraestrutura de Dados Espaciais - IDE SISEMA.** Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em fevereiro de 2025.

SOUZA, J., NUNES, N., & DA COSTA SILVA HERCULANO, R. (2021). **Unidades de paisagem e dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio das Pedras, Goiás, Brasil.** Revista Cerrados, 19, 03-22. <https://doi.org/10.46551/rc24482692202101>.

VAN DER KNIJFF, J. M.; JONES, R. J. A.; MONTANARELLA, L. **Soil erosion risk assessment in Italy.** Luxembourg: European Soil Bureau, 1999.

VIANA, Samuel Resende. **Os campos de murundu no Chapadão do Zagaia, Parque Nacional da Serra da Canastra: uma análise morfométrica.** 2025. Monografia, Geociências e Saúde Coletiva, Universidade Federal de Uberlândia, 2025.