

ESCARPA DO PLANALTO DE POÇOS DE CALDAS E A CONFIGURAÇÃO FLUVIAL DA BACIA DO RIO MACHADO (MG)

Rhian Silva Mendonça ¹
Marcelo Augusto Ribeiro Pires ²
Sofia Soto Bonassa ³
Isabella de Oliveira Carvalho ⁴
Luisa Baptistella Zanete ⁵
Felipe Gomes Rubira ⁶

INTRODUÇÃO

A análise morfométrica de uma bacia hidrográfica, considerando suas características geomorfológicas, permite identificar suas propriedades gerais (Miccadei, Carabella; Paglia, 2021). Compreender essas características é essencial para avaliar como fatores naturais e intervenções humanas moldam a estrutura da drenagem e a topografia da bacia (Bhattacharya et al., 2021; Reis et al., 2023).

Nesse contexto, estudos pioneiros como o de Horton (1945) estabeleceram relações quantitativas entre os elementos do sistema fluvial. Desde então, pesquisas exploram parâmetros morfométricos para compreender como as características morfológicas afetam a dinâmica das bacias (Peyerl et al., 2023; Reis et al., 2023). Essas análises são essenciais para avaliar o impacto das deformações tectônicas no relevo e na rede de drenagem (Schumm, 1993). De modo geral, mudanças na crosta afetam diretamente o curso dos rios, que respondem rapidamente às alterações provocadas por processos geológicos (Hack, 1973; Kirby; Whipple, 2012).

Assim, observa-se uma relação sistêmica entre as vertentes e os sistemas de drenagem. As inclinações e orientações das vertentes influenciam o escoamento superficial, afetando a erosão e deposição nos canais, e fornecem dados sobre a estabilidade do terreno e a evolução topográfica (Simoni et al., 2020). Por sua vez, os sistemas de drenagem respondem às mudanças nos níveis de base, alterando as formas e

¹ Graduando pelo Curso de Geografia Bacharelado da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, rhian.mendonca@sou.unifal-mg.edu.br;

² Graduando pelo Curso de Geografia Licenciatura da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, marcelo.pires@sou.unifal-mg.edu.br;

³ Graduanda pelo Curso de Geografia Bacharelado da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, sofia.bonassa@sou.unifal-mg.edu.br;

⁴ Graduanda pelo Curso de Geografia Bacharelado da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, isabella.carvalho@sou.unifal-mg.edu.br;

⁵ Graduanda pelo Curso de Geografia Licenciatura da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, luisa.zanete@sou.unifal-mg.edu.br;

⁶ Professor orientador: Prof. Dr. Felipe Gomes Rubira, Instituto de Ciências da Natureza - ICN, Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, felipe.rubira@unifal-mg.edu.br.

processos nas vertentes (Bowman et al., 2023). Por exemplo, canais meandantes em ambientes aluviais causam maior erosão nas margens externas das curvas, enquanto a erosão em zonas de quebra de declive é intensificada por canais retilíneos de leito rochoso, aumentando a instabilidade do solo (Charlton, 2008).

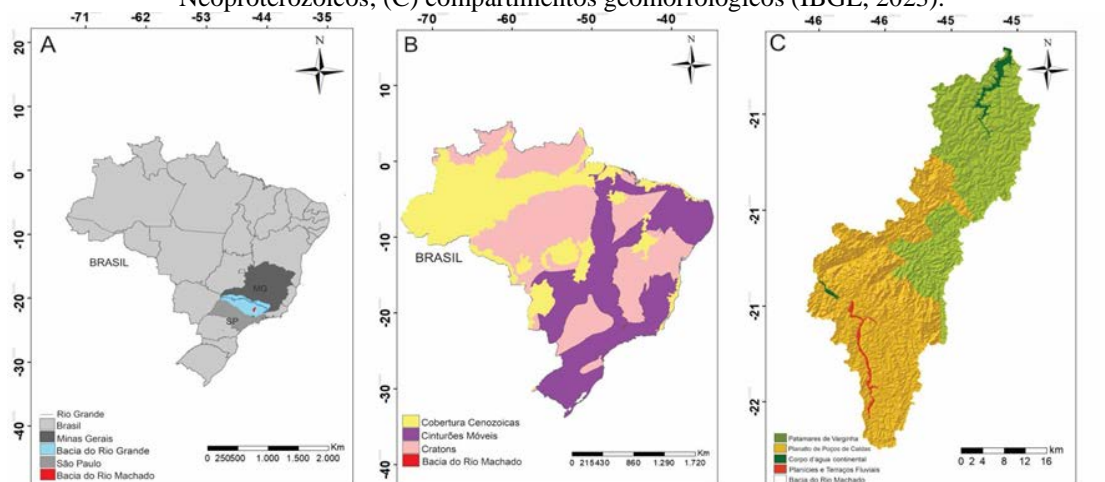
Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a influência morfoestrutural da escarpa do planalto de Poços de Caldas no traçado e na evolução fluvial do rio Machado, identificando pontos críticos relacionados a *knickpoints*. Para isso, foram analisados perfis longitudinais e utilizados parâmetros morfométricos, como hipsometria, declividade, magnitude e densidade de *knickpoints*, além do índice de declividade normalizada do canal (k_{sn}).

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Machado está localizada no sul do estado de Minas Gerais, possuindo uma área de 1.179,79 km² e sendo constituída como uma sub-bacia do rio Grande (MG) (Figura 1A). A geologia regional abrange terrenos neoproterozoicos associados ao domínio morfoestrutural dos Cinturões Móveis (Figura 1B). As unidades geomorfológicas estão ligadas ao Planalto de Poços de Caldas, sucedidas pelo Patamares de Varginha. Em ambos os compartimentos, são encontrados terraços e planícies fluviais embutidas, que originam áreas de leitos aluviais (Figura 1C).

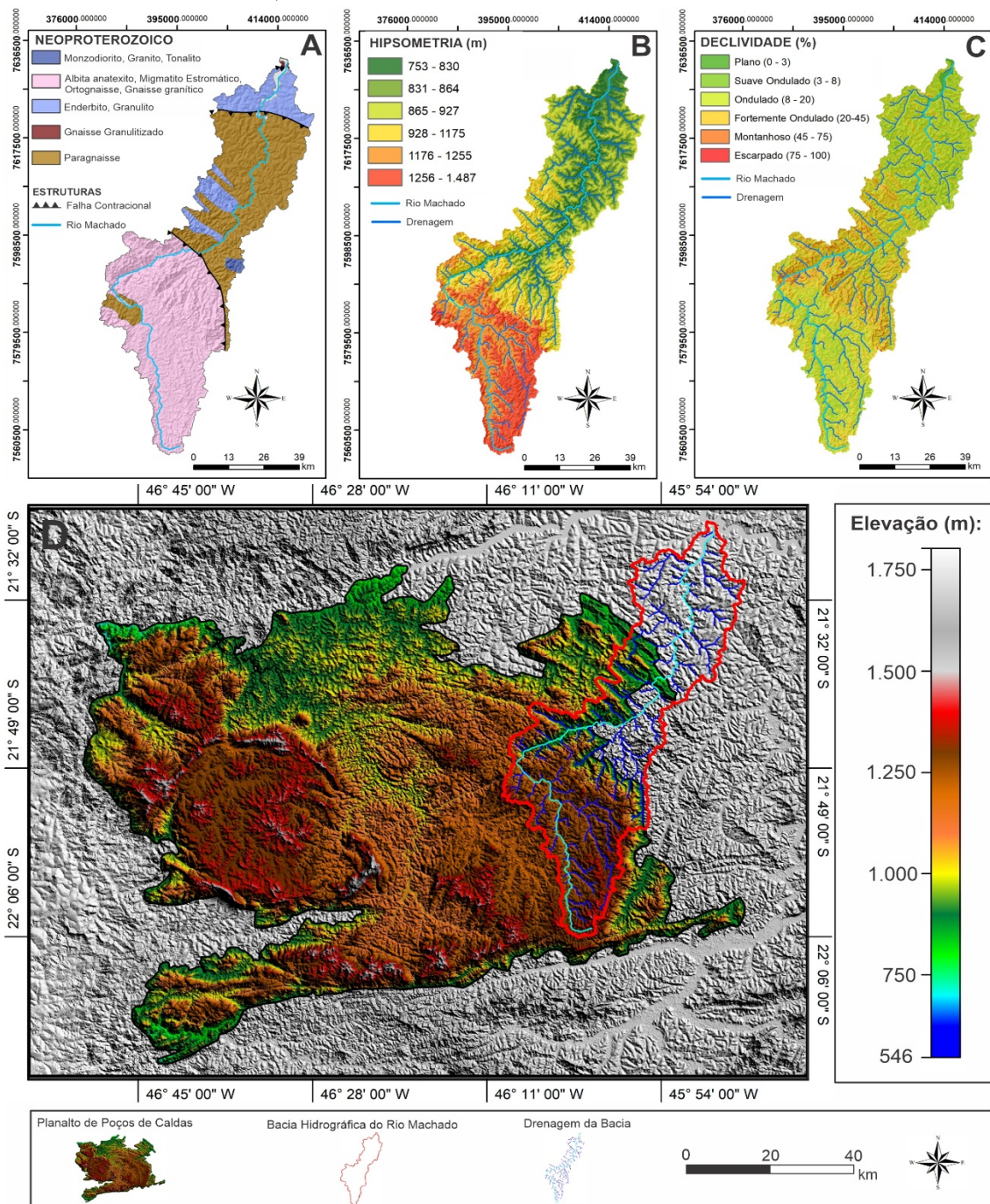
Figura 1: (A) localização da área de estudo; (B) bacia do rio Machado sobreposta aos Cinturões Móveis Neoproterozoicos; (C) compartimentos geomorfológicos (IBGE, 2023).



Na área, a presença de zonas de cisalhamento indica uma intensa atividade tectônica durante o neoproterozóico, contribuindo para a deformação das rochas (Figura

2A) (Hasui, 2010). A bacia é constituída principalmente por gnaisses, granitos, xistos, enderbito e granulito (Figura 2A) (Silva et al., 2020). O relevo é moldado pelo Planalto de Poços de Caldas, com altitudes mais elevadas, seguido pelos Patamares de Varginha, em altitudes mais baixas (Figura 2B). Entre esses compartimentos, há escarpas planálticas com declividades acentuadas (Figura 2C).

Figura 2: (A) geologia; (B) hipsometria; (C) declividade da bacia do rio Machado; (D) Planalto de Poços de Caldas, caldeira vulcânica a oeste e bacia do rio Machado a leste



O Planalto de Poços de Caldas, também conhecido como Maciço Alcalino de Poços de Caldas, é uma extensa formação geológica de origem vulcânica, caracterizada por planaltos elevados sustentados por rochas cristalinas do Pré-Cambriano e Cambro-Ordoviciano, além de intrusivas alcalinas do final do Cretáceo (Doranti-Tiritan et al., 2014). Destaca-se a caldeira vulcânica, com cerca de 30 km de diâmetro, que faz parte de uma área maior abrangida pelo planalto (Figura 2D).

MATERIAIS

Os parâmetros morfométricos foram processados no *TopoToolbox 2*, hospedado no software MATLAB v.2021a (Schwanghart; Scherler, 2014), a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) Copernicus GLO-30, com 30 metros de resolução espacial, extraído da plataforma *Open Topography* (<https://opentopography.org/>) (ESA, 2021).

MÉTODOS

O k_{sn} foi aplicado em toda a rede de drenagem para avaliar a potência fluvial (Equação 1). Onde: S é o valor gradiente; A é área da bacia de drenagem a montante e θ é o índice de concavidade de referência (Kirby; Whipple, 2012).

$$k_{sn} = SA^{-\theta_{ref}} \text{ (Equação 1)}$$

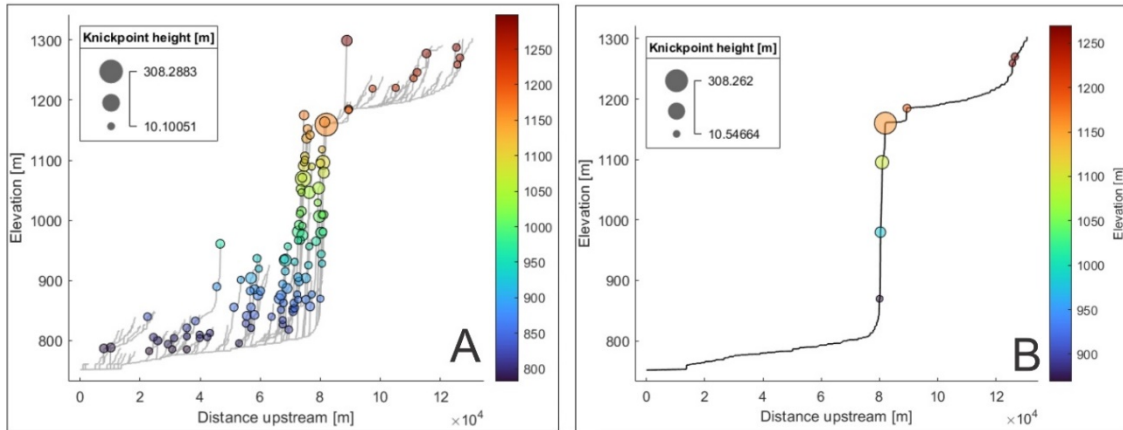
Os ruídos do MDE foram eliminados e a drenagem foi extraída com uma área de contribuição mínima de 500 pixels e remoção de canais de 1ª ordem menores que 10 km. Na sequência foi aplicado o índice de concavidade comum ($\theta = 0,45$) e os valores de k_{sn} em segmentos de fluxo foram determinados. Utilizando as funções ‘*plotdz*’, ‘*knickpoint finder*’ e ‘*point pattern on stream networks*’, foram elaborados os perfis longitudinais, identificados os *knickpoints* e mensurados as magnitudes das anomalias (Schwanghart; Scherler, 2014). Em seguida, os dados foram exportados para o ArcGIS 10.8.1, onde o mapa de densidade de *knickpoints* foi elaborado. Por fim, a proeminência topográfica foi calculada pelas funções ‘*prominence*’ e ‘*point pattern on stream networks*’ e o gradiente de encosta por meio da função ‘*Upslopestats*’.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na área de estudo, foram identificados 113 *knickpoints*, sendo 62 com alturas de 10 a 20 metros e 51 de 20 a 30 metros (Figura 3A). Destes, 7 estão associados ao canal principal, com o maior apresentando uma amplitude de 308 metros (Figura 3B).

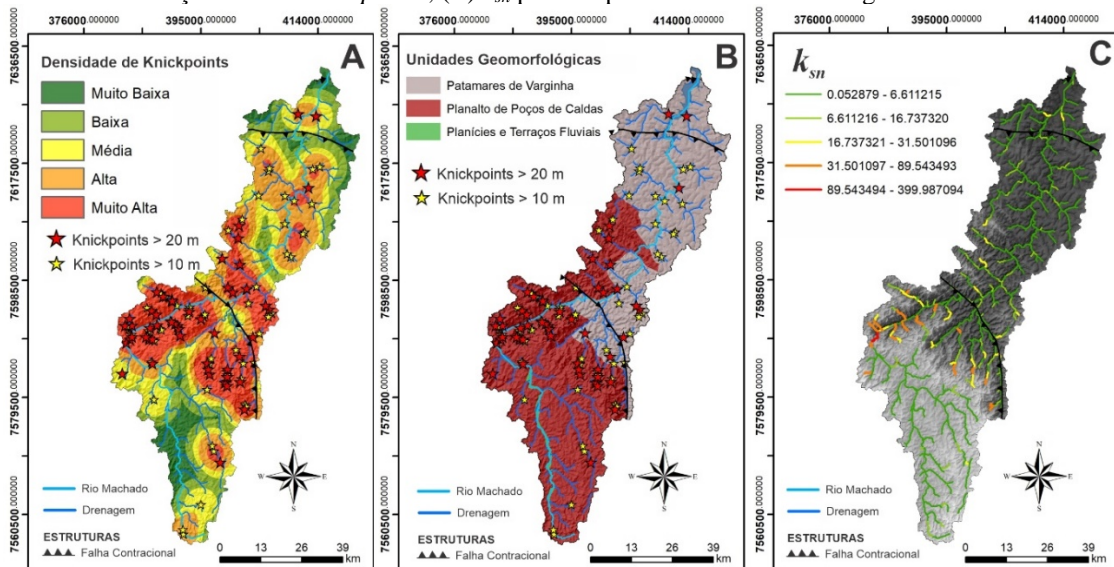
Observam-se dois patamares distintos, separados pelas escarpas planálticas de declividades acentuadas, que marcam a transição entre o Planalto de Poços de Caldas e os Patamares de Varginha (Figuras 3A e 3B).

Figura 3. Altura dos knickpoints > 10 m. (A) na drenagem da bacia; (B) no rio principal



As concentrações de *knickpoints* associam-se às escarpas planálticas, indicando uma notável influência morfoestrutural na configuração atual da paisagem (Figuras 4A e 4B). A zona transiente é caracterizada por *knickpoints* de degrau vertical, geralmente associados a mudança na resistência da rocha (Neely, Bookhagen e Burbank, 2017).

Figura 4: (A) densidade de *knickpoints* com altura superior a 10 m; (B) compartimentação do relevo e relação com os *knickpoints*; (C) k_{sn} por comprimento fluxo da drenagem da bacia

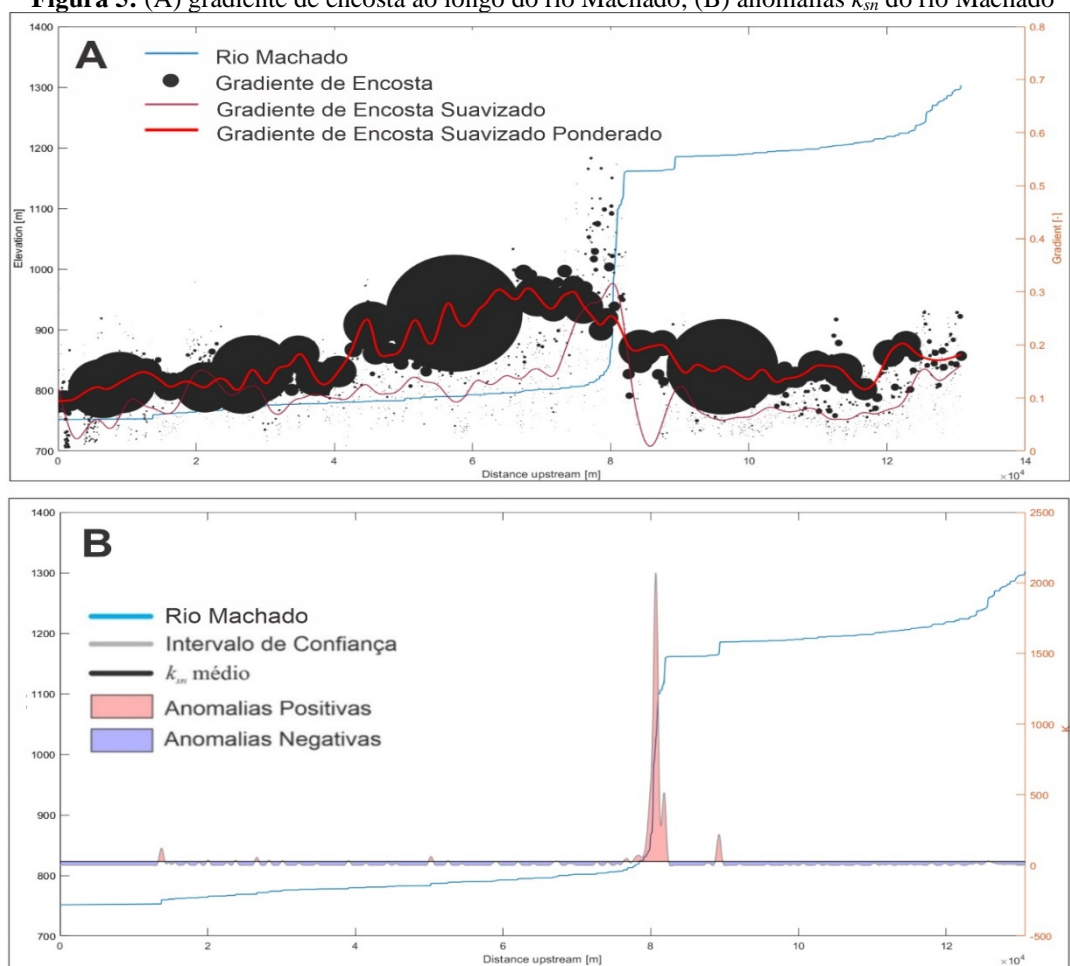


Os maiores valores de k_{sn} na bacia (31.50 a 399.98 m^{0.9}) também estão associados às escarpas planálticas e aos *knickpoints* de maiores alturas (Figura 4C). Os valores muito elevados (89.84 a 399.98 m^{0.9}) e elevados (31.50 a 89.54 m^{0.9}) localizam-se a jusante das rupturas, enquanto os valores médios (16.73 a 31.50 m^{0.9}) antecedem as

quedas (Figuras 4A, 4B e 4C). Trechos que apresentam essa transição evidenciam as *knickzones*. Por outro lado, os valores baixos (6.61 a $16.73 \text{ m}^{0.9}$) e muito baixos (0.05 a $6.61 \text{ m}^{0.9}$), identificados a montante e a jusante das escarpas planálticas, indicam condições de virtual repouso e zonas de acomodação de sedimentos, originando leitos aluviais que recobrem a rocha e a protegem da erosão fluvial (Figuras 4A, 4B e 4C).

As variações do gradiente de encostas adjacentes ao rio Machado mostram um aumento após a primeira grande ruptura, na transição entre os dois compartimentos geomorfológicos (Figura 5A). Isso sugere que a área central foi fortemente afetada por eventos tectônicos, como evidenciado pela zona de cisalhamento que intercepta a bacia, levando ao surgimento de elevações e *knickpoints* mais pronunciados (Figura 4A).

Figura 5: (A) gradiente de encosta ao longo do rio Machado; (B) anomalias k_{sn} do rio Machado



A partir do cálculo do k_{sn} médio, foi elaborado o gráfico das anomalias do rio Machado com intervalo de confiança de 90% sobre as anomalias positivas e negativas (Figura 5B). Observa-se uma brusca diferença na potência fluvial em setores antes e depois da quebra de declive. Esses fatores sugerem que áreas com maior declividade e

fluxo hídrico acumulam energia suficiente para intensificar os processos erosivos na escarpa planáltica de Poços de Caldas. Essa dinâmica indica uma complexa interação entre a geologia da região e os processos hidrológicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise revelou que as escarpas planálticas influenciam a potência fluvial. Valores mais altos de k_{sn} foram observados próximos às escarpas, indicando maior atividade erosiva nessas áreas. Isso destaca a importância da morfoestrutura na configuração da paisagem e na evolução dos cursos d'água da região. A presença de *knickpoints* e o elevado gradiente de encosta associados às escarpas também são indicadores desta dinâmica. Esses resultados evidenciam a complexa interação entre a geologia regional e os processos hidrológicos, influenciando a dinâmica fluvial e a evolução da paisagem local. Além disso, fornecem *insights* valiosos para o planejamento e gestão ambiental, destacando a importância de considerar os aspectos morfoestruturais na análise e monitoramento de bacias hidrográficas.

AGRADECIMENTOS

Externamos nossos agradecimentos à FAPEMIG e CAPES, pelo fomento financeiro para participação coletiva em eventos e pesquisa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

BHATTACHARYA, R. K. et al. Morphometric analysis to characterize the soil erosion susceptibility in the western part of lower Gangetic River basin, India. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, n. 6, p. 501, 13 mar. 2021.

BOWMAN, D. Base-Level Rise. Em: BOWMAN, D. (Ed.). **Base-level Impact: A Geomorphic Approach**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 33–36.

CHARLTON, R. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology**. London: Routledge, 2007.

DORANTI-TIRITAN, C. et al. Evolução do relevo da região do planalto de poços de caldas (SP/MG) baseado em dados de termocronologia de baixa temperatura e modelagem termocinemática 3D. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 2, 18 ago. 2014.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Copernicus Global Digital Elevation Model**. 2021. Available at: <https://doi.org/10.5069/G9028PQB>. Accessed 05 fev 2024.

HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. **Journal of Research of the U.S. Geological Survey**, v. 1, n. 4, p. 421–429, 1973.

HASUI, Y. A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional. **Geociências**, v. 29, n. 2, p. 141–169, 2 set. 2010.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. **GSA Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275–370, 1 mar. 1945.

IBGE. **Base Dados Espacial 1:250.000, Brasil**. Escala 1:250.000. <https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/vetores/escala_250_mil/versao_2023/>. Acesso em: 27 maio. 2024.

KIRBY, E.; WHIPPLE, K. X. Expression of active tectonics in erosional landscapes. **Journal of Structural Geology**, v. 44, p. 54–75, 1 nov. 2012.

NEELY, A. B.; BOOKHAGEN, B.; BURBANK, D. W. An automated knickzone selection algorithm (KZ-Picker) to analyze transient landscapes: Calibration and validation. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 122, n. 6, p. 1236–1261, 2017.

MICCADEI, E.; CARABELLA, C.; PAGLIA, G. Morphotectonics of the Abruzzo Periadriatic Area (Central Italy): Morphometric Analysis and Morphological Evidence of Tectonics Features. **Geosciences**, v. 11, n. 9, p. 397, set. 2021.

PEYERL, W. R. L. et al. Identification of morphostructures by utilizing Knickpoint Ranks, a method to avoid the camouflage effect in knickpoint analysis. **Geomorphology**, v. 442, p. 108919, 1 dez. 2023.

REIS, I. L. et al. Morphometric parameters of the relief and drainage network of a tropical subbasin. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 2, 27 jun. 2023.

SCHUMM, S. A. River Response to Baselevel Change: Implications for Sequence Stratigraphy. **The Journal of Geology**, v. 101, n. 2, p. 279–294, mar. 1993.

SCHWANGHART, W.; SCHERLER, D. Short Communication: TopoToolbox 2 – MATLAB-based software for topographic analysis and modeling in Earth surface sciences. **Earth Surface Dynamics**, v. 2, n. 1, p. 1–7, 15 jan. 2014.

SILVA et al. **Mapa geológico do estado de Minas Gerais**. CPRM, 2020. Escala 1:1.000.000 Available in: <<https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/21828?show=full>> Access at: 22 feb. 2023

SIMONI, A. et al. Runoff-generated debris flows: Observation of initiation conditions and erosion–deposition dynamics along the channel at Cancia (eastern Italian Alps). **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 45, n. 14, p. 3556–3571, 2020.