



## A INFLUÊNCIA TECTÔNICA NA REDE DE DRENAGEM DA BACIA DO BAIXO SAPUCAÍ

Isabella Oliveira Carvalho<sup>1</sup>  
Sofia Soto Bonassa<sup>2</sup>  
Marcelo Augusto Ribeiro Pires<sup>3</sup>  
Luisa Baptistella Zanete<sup>4</sup>  
Rhian Silva Mendonça<sup>5</sup>  
Raissa Eduarda da Silva Archanjo<sup>6</sup>  
Ronaldo Luiz Mincato<sup>7</sup>  
Felipe Gomes Rubira<sup>8</sup>

### RESUMO

A bacia hidrográfica do Baixo Sapucaí, localizada no sul de Minas Gerais, destaca-se como área de interesse geomorfológico devido à sua história tectônica, vinculada à Orogênese Brasileira, no neoproterozoico. Nesse sentido, este estudo tem como objetivo investigar como a tectônica, associada às características litológicas, influencia a organização da rede de drenagem. Para isso, foram analisados índices morfométricos, como densidade hidrográfica ( $Dh$ ), densidade de drenagem ( $Dd$ ), sinuosidade ( $Is$ ), coeficiente de compacidade ( $Cc$ ), razão de circularidade ( $Cr$ ), fator forma ( $Ff$ ), densidade de lineamentos estruturais, diagramas de rosetas, fator de simetria ( $FSTT$ ) e fator de assimetria ( $FADB$ ). Os dados foram derivados do MDE Copernicus GLO-30. Os resultados indicam que a morfologia e a drenagem da bacia são condicionadas por falhas contracionais, transcorrentes e normais. A  $Dh$  média é de 1,94 canais/km<sup>2</sup> e a  $Dd$ , de 1,62 km/km<sup>2</sup>, com maiores valores próximos a falhas. Os menores valores ocorrem em setores aluviais com enderbitos e sedimentos arenosos. O canal principal apresenta sinuosidade elevada ( $Is = 50,42\%$ ), refletindo baixa energia de escoamento, ao passo que tributários encaixados indicam ação erosiva intensa. Os parâmetros  $Cr$  (0,19),  $Cc$  (2,24) e  $Ff$  (0,18) revelam bacia alongada e escoamento gradual. Direções estruturais preferenciais ( $50^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $225^\circ$  e  $270^\circ$ ) refletem o controle tectônico. O  $FSTT$  varia entre 0,06 e 0,67, indicando basculamentos setorizados, enquanto o  $FADB$  (49,29%) aponta simetria geral. Conclui-se que a compartimentação tectônica e os contrastes litológicos exercem papel determinante na organização hidrográfica. Os resultados reforçam a importância de abordagens integradas que considerem controles tectônicos e litológicos para compreender as dinâmicas geomorfológicas e a evolução da paisagem fluvial a longo termo.

<sup>1</sup> Mestranda do curso de Geografia (PPGEO) da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG, [isabella.carvalho@sou.unifal-mg.edu.br](mailto:isabella.carvalho@sou.unifal-mg.edu.br)

<sup>2</sup> Graduanda do Curso de Geografia Bacharelado da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG, [sofia.bonassa@sou.unifal-mg.edu.br](mailto:sofia.bonassa@sou.unifal-mg.edu.br);

<sup>3</sup> Graduando do Curso de Geografia Licenciatura da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG, [marcelo.pires@sou.unifal-mg.edu.br](mailto:marcelo.pires@sou.unifal-mg.edu.br);

<sup>4</sup> Graduanda do Curso de Geografia Licenciatura da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG, [luisa.zanete@sou.unifal-mg.edu.br](mailto:luisa.zanete@sou.unifal-mg.edu.br);

<sup>5</sup> Graduando do Curso de Geografia Bacharelado da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG, [rhian.mendonca@sou.unifal-mg.edu.br](mailto:rhian.mendonca@sou.unifal-mg.edu.br);

<sup>6</sup> Mestranda do curso de Geografia (PPGEO) da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG, [raissa.archanjo@sou.unifal-mg.edu.br](mailto:raissa.archanjo@sou.unifal-mg.edu.br);

<sup>7</sup> Docente do Instituto Ciências da Natureza (ICN) da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG, [ronaldo.mincato@unifal-mg.edu.br](mailto:ronaldo.mincato@unifal-mg.edu.br);

<sup>8</sup> Professor Orientador: Doutor e Docente do Instituto Ciências da Natureza da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG, [felipe.rubira@unifal-mg.edu.br](mailto:felipe.rubira@unifal-mg.edu.br).



## INTRODUÇÃO

A geomorfologia é o ramo das geociências que se dedica à investigação das formas do relevo e dos processos responsáveis por sua gênese e transformação (Suguio, 2000). No interior desse campo, a geomorfologia fluvial concentra-se na análise da organização e dinâmica dos sistemas fluviais, considerando suas interações com o meio físico ao longo do tempo (Christofoletti, 1980; Stevaux e Latrubesse, 2017). Desde os trabalhos pioneiros de Hutton (1788), Powell (1875) e Gilbert (1877) os rios têm sido reconhecidos como agentes fundamentais na esculturação da paisagem, atuando por meio da erosão e da deposição de sedimentos.

Nesse contexto, as bacias hidrográficas constituem unidades naturais de análise, caracterizadas como sistemas abertos que realizam trocas contínuas de energia e matéria com o ambiente (Christofoletti, 1999). Sob essa abordagem sistêmica, a configuração da drenagem de uma bacia reflete a interação entre condicionantes geológicos e climáticos (Reis et al., 2023). As entradas do sistema, como a precipitação e os movimentos tectônicos, influenciam diretamente as saídas, associadas ao escoamento e transporte de sedimentos, promovendo ajustes contínuos por meio de mecanismos de autorregulação e retroalimentação, em busca de um equilíbrio morfodinâmico (Christofoletti, 1999; Suguio, 2003).

A geomorfologia estrutural, por sua vez, oferece bases teóricas e metodológicas para a compreensão das relações entre relevo, drenagem e seus condicionantes geológicos. Os padrões geométricos da rede de drenagem frequentemente refletem influências litoestruturais, aspectos essenciais para a interpretação da evolução da paisagem em escalas de longo termo (Gutiérrez, 2008; Migon, 2004). Portanto, compreender o comportamento da rede fluvial implica considerar a história tectônica e a natureza do substrato que moldaram a topografia atual (Cruz et al., 2025).

Na região Sudeste do Brasil, por exemplo, a atuação de cinturões móveis relacionados à orogênese Brasiliana (neoproterozoico), aliada a eventos de soerguimento crustal no Cretáceo e Cenozoico, condicionou significativamente a compartimentação do relevo e a organização hidrográfica (Riccomini; Assumpção, 1999; Hasui, 2010; Cruz et al., 2025). Inserida nesse cenário, a bacia do Baixo Sapucaí, localizada no sul de Minas Gerais, destaca-se como área propícia à investigação morfotectônica, dada a expressiva presença de estruturas herdadas.

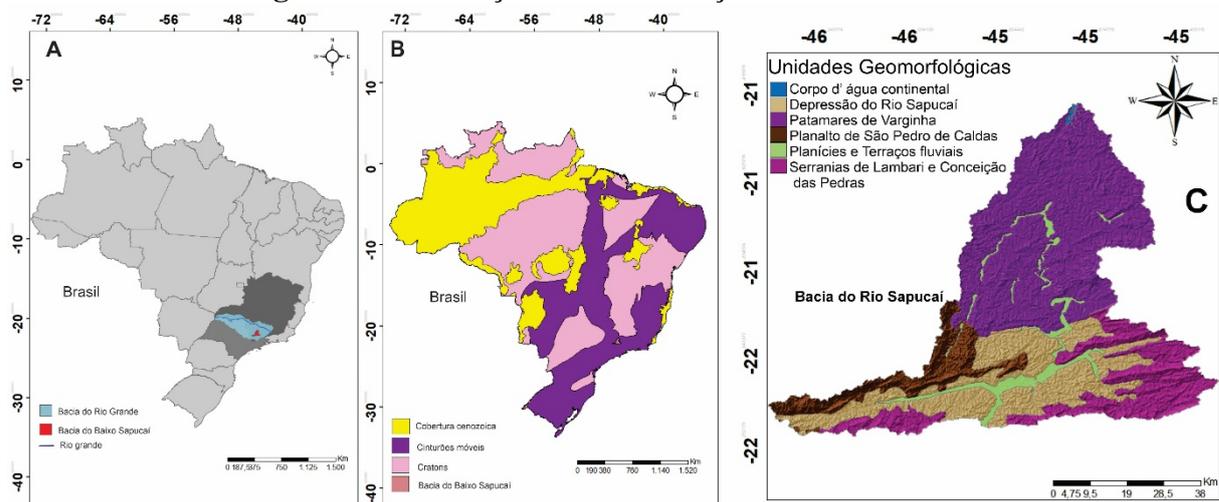
Diante disso, este trabalho tem como objetivo analisar a influência tectônica sobre a organização da drenagem na bacia do Baixo Sapucaí, por meio da aplicação de índices morfométricos e da interpretação integrada de dados geológicos, estruturais e topográficos.

## METODOLOGIA

### ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Baixo Sapucaí integra a bacia hidrográfica do rio Sapucaí, subdividida em Alto, Médio e Baixo Sapucaí, e conecta-se à bacia do rio Grande (Figura 1A). O rio Sapucaí tem sua nascente em Campos do Jordão (SP), na Serra da Mantiqueira, e conflui com o rio Sapucaí-Mirim em Pouso Alegre (MG), marcando o início do baixo curso. A região pertence ao domínio morfoestrutural dos cinturões móveis neoproterozoicos (Figura 1B), destacando-se o Planalto do Alto Rio Grande (Serranias de Lambari e Conceição das Pedras), o Planalto de São Pedro de Caldas, Patamares de Varginha e Depressão do rio Sapucaí (Figura 1C).

**Figura 1:** Localização e Caracterização da área de estudo

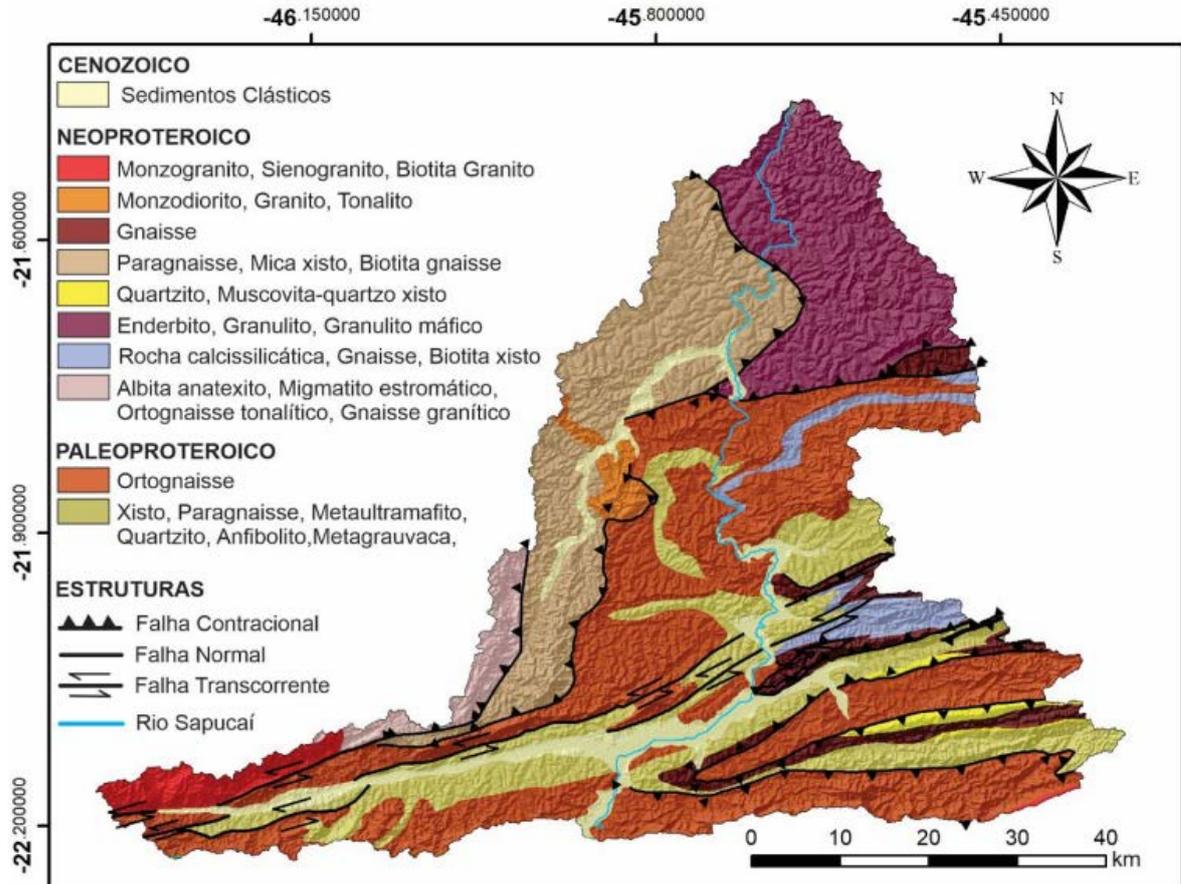


Fonte: Adaptado de IBGE (2023)

A geologia da bacia do Baixo Sapucaí é predominantemente definida por rochas neoproterozoicas e paleoproterozoicas. As litologias neoproterozoicas incluem paragneisses, gnaisses graníticos, ortogneisses tonalíticos, granitos, monzogranitos e monzodioritos concentram-se nas nascentes e interflúvios da margem esquerda do canal principal. Essas formações estão associadas às escarpas do Planalto de Poços de Caldas e aos patamares de Varginha, sendo controladas por falhas de empurrão e transcorrentes (Figura 2).

As rochas paleoproterozoicas, compostas por ortogneisses e xistos, são mais proeminentes no baixo curso e na margem direita dos tributários, ligam-se às Serranias de Lambari e Conceição das Pedras e aos patamares de Varginha. As zonas de contato entre as litologias neoproterozoicas e paleoproterozoicas são marcadas por quartzitos, gnaisses e rochas calcissilicáticas, o que indica um controle estrutural exercido por falhas tectônicas.

**Figura 2:** Mapa geológico da bacia hidrográfica do Baixo Sapucaí



**Fonte:** Adaptado de Silva et al. (2020)

## MATERIAIS

Foram utilizadas as seguintes bases cartográficas para caracterizar a área e processar os parâmetros morfométricos: (i) modelo digital de elevação Copernicus GLO-30, com resolução espacial de 30 metros, obtido na plataforma *OpenTopography*; (ii) *shapefile* da rede de drenagem nas escalas 1:100.000 e 1:50.000, referentes à base hidrográfica ottocodificada da bacia do rio Grande (ANA, 2014); (iii) e *shapefile* geológico do Estado de Minas Gerais, na escala de 1:1.000.000 (Silva et al., 2020).

## MÉTODOS

A densidade de drenagem ( $Dd$ ) foi determinada pela razão entre o comprimento total dos canais e a área da bacia (Christofolletti, 1969), enquanto a densidade hidrográfica ( $Dh$ ) relacionou o número total de canais à área da bacia (Horton, 1945). Ambos os índices foram empregados para analisar a concentração dos cursos d'água, a capacidade de infiltração e de escoamento superficial, levando em consideração a litologia da bacia.



O índice de sinuosidade ( $I_s$ ) foi obtido a partir da razão entre o comprimento do canal principal e a distância em linha reta entre sua nascente e sua foz (Schumm, 1963). Esse índice possibilita quantificar a sinuosidade dos canais e inferir sobre a eficiência do escoamento, especialmente em trechos meandranes vinculados a baixos cursos fluviais.

Para analisar a influência de processos tectônicos no deslocamento lateral do canal principal em relação ao eixo médio da bacia, foram aplicados o fator de simetria topográfica transversal ( $FSTT$ ) proposto por Cox (1994) e o fator de assimetria da bacia de drenagem ( $FABD$ ), conforme Hare e Gardner (1985). Esses índices permitem identificar desvios induzidos por basculamentos tectônicos, capturas fluviais, contatos litológicos e encaixes em linhas de falha.

A densidade de lineamentos estruturais foi calculada com base na metodologia proposta por Reis et al. (2023), visando quantificar a ocorrência e intensidade de falhas e fraturas e relacioná-las à litologia local, identificando setores com maior suscetibilidade à reativação tectônica. O diagrama de roseta foi empregado para analisar a direção e frequência dos lineamentos estruturais e sua correspondência com os principais *trends* regionais.

O coeficiente de compacidade ( $C_c$ ), o fator forma ( $F_f$ ) e a razão de circularidade ( $Cr$ ) foram utilizados para avaliar a morfologia das bacias hidrográficas, comparando-as a um círculo ideal, os dois primeiros foram calculados com base na metodologia de Horton (1945) e o último conforme Miller (1953). Esses índices fornecem informações sobre a dinâmica de escoamento e a suscetibilidade a eventos hidrológicos extremos. Bacias mais circulares apresentam maior potencial para escoamento concentrado, aumentando o risco de enchentes. Além de suas implicações hidrológicas, esses índices podem refletir influências de compartimentações estruturais.

As equações, variáveis envolvidas e interpretações dos valores associados a cada índice estão descritas detalhadamente em Cruz et al. (2025).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O padrão de drenagem dendrítico predomina em áreas homogêneas compostas por ortognaisses paleoproterozoicos, enquanto padrões paralelo e treliça se associam a zonas de falhas e fraturas em rochas de resistência diferenciada.

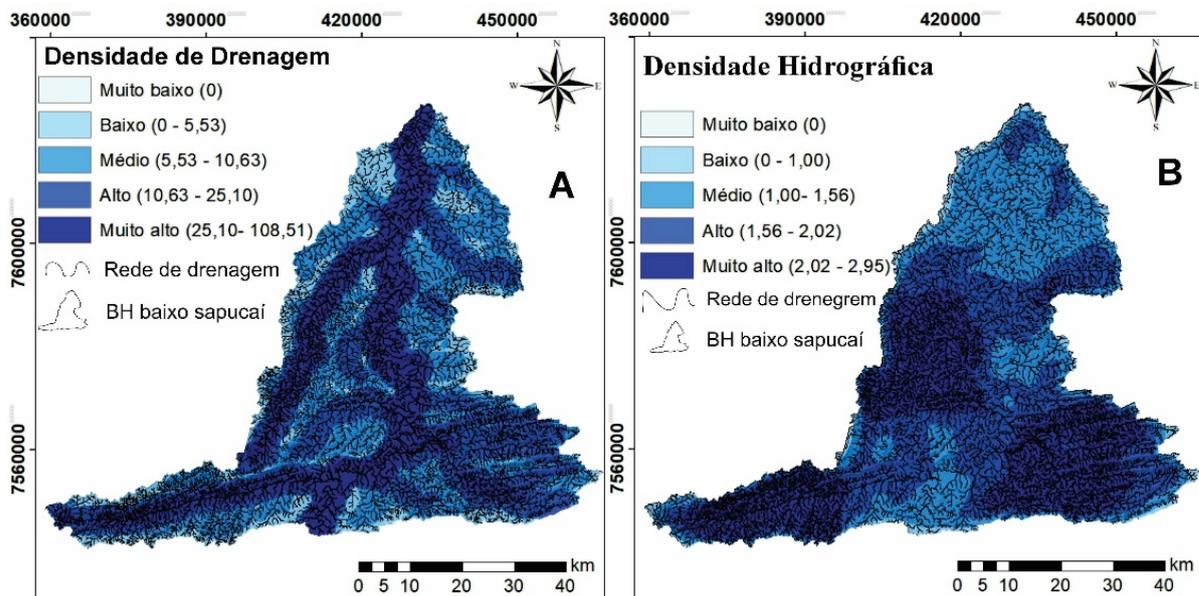
A  $Dd$  média da bacia do Baixo Sapucaí, obtida pela razão entre o comprimento total dos canais (7.182,3 km) e sua área (3.698,1 km<sup>2</sup>), é de 1,62 km/km<sup>2</sup>. A distribuição espacial desses

valores revela um padrão fluvial condicionado por estruturas tectônicas, com maior densidade nos tributários, especialmente em áreas afetadas por falhas inversas, transcorrentes e normais. Essas zonas de maior densidade coincidem com setores compostos por rochas metamórficas paleoproterozoicas (Figura 2 e 3A).

A  $Dh$  média, calculada a partir da razão entre o número total de canais (6.126) e a área da bacia, resultou em 1,94 canais/km<sup>2</sup>. Apesar da média ser considerada baixa (2,15 canais/km<sup>2</sup>), observam-se variações espaciais associadas à geologia. As maiores concentrações de  $Dh$  ocorrem em sub-bacias próximas a falhas tectônicas, onde o relevo mais dissecado e variações de gnaisses favorecem o encaixamento dos vales e o desenvolvimento de encostas íngremes. Tais condições aumentam a eficiência do escoamento superficial, resultando em maiores valores de  $Dh$  e de  $Dd$  (Figuras 2 e 3).

Por outro lado, as menores concentrações de  $Dh$  ocorrem em setores adjacentes ao canal principal e na confluência com o reservatório de Furnas, onde predominam leitos aluviais com sedimentos arenosos e afloramentos de enderbitos. Nesses trechos, as declividades mais suaves reduzem a energia do escoamento e favorecem os processos de infiltração (Figura 2 e 3).

**Figura 3:** densidade de drenagem (A) e densidade hidrográfica (B)



**Fonte:** Autores (2025)

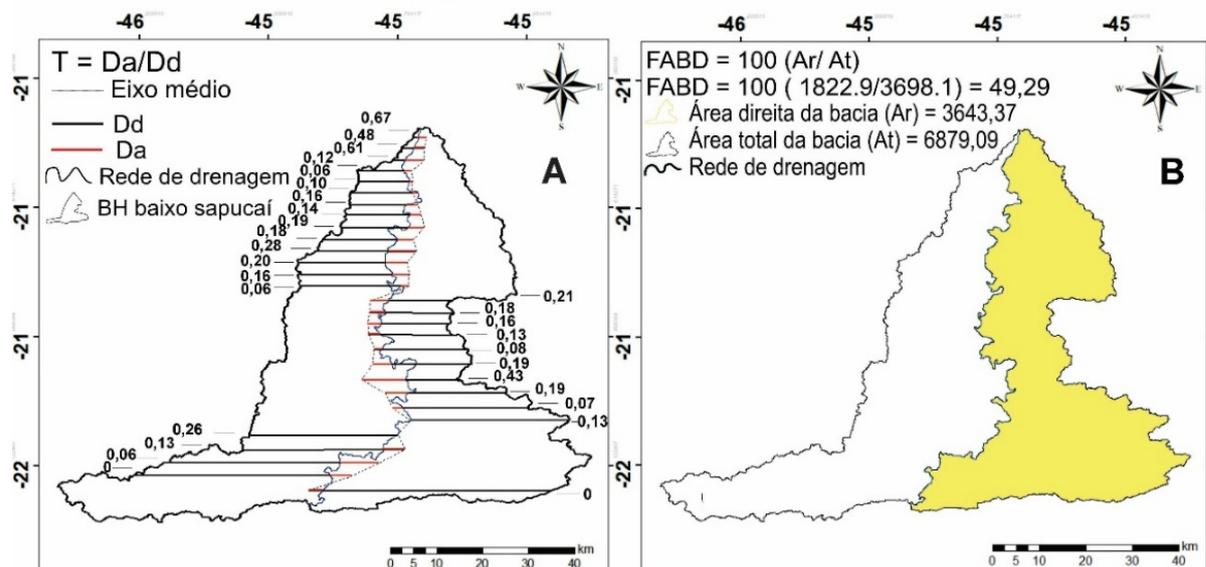
O índice de sinuosidade ( $I_s$ ), calculado pela razão entre o comprimento do canal principal (172,75 km) e a distância vetorial entre suas extremidades (85,65 km), resultou em 2,02, indicando um canal muito sinuoso. Tal sinuosidade está concentrada principalmente no

canal principal, enquanto os maiores tributários, frequentemente encaixados em falhas, apresentam sinuosidade menor, mas com curvas mais abruptas.

Apesar da sinuosidade elevada, o escoamento superficial não demonstra perda de eficiência, devido à forma da bacia, que: (i) não está sujeita a grandes inundações ( $Cc = 2,24$ ); (ii) favorece o escoamento superficial ( $Cr = 0,19$ ); e (iii) apresenta boa eficiência no escoamento durante picos de chuva ( $Ff = 0,18$ ). Essas métricas, associadas à área ( $3.698,1 \text{ km}^2$ ) e ao perímetro ( $488,31 \text{ km}$ ), apontam para uma bacia com baixo potencial de enchentes rápidas, mesmo sob intensas precipitações.

A compartimentação estrutural da bacia é marcada por um padrão de basculamento em blocos, definido por três setores principais, conforme identificado pelo *FSTT*. O primeiro setor exibe basculamento para o oeste, associado a falhas de empurrão dispostas a leste compostas por gnaisses e ortognaisses (Figuras 2 e 4A). O segundo setor apresenta basculamento para leste, induzido por falhas transcorrentes que definem as escarpas do planalto de São Pedro de Caldas, onde predominam xistos, paragnaisses e ortognaisses (Figuras 1C, 2 e 4A). O terceiro setor, próximo à confluência com o reservatório de Furnas, mostra basculamento para oeste, relacionado a falhas inversas que interceptam o canal principal e delimitam contatos litológicos entre ortognaisses, paragnaisses e enderbitos (Figuras 1C, 2 e 4A).

**Figura 4:** (A) *FSTT*; (B) *FABD*

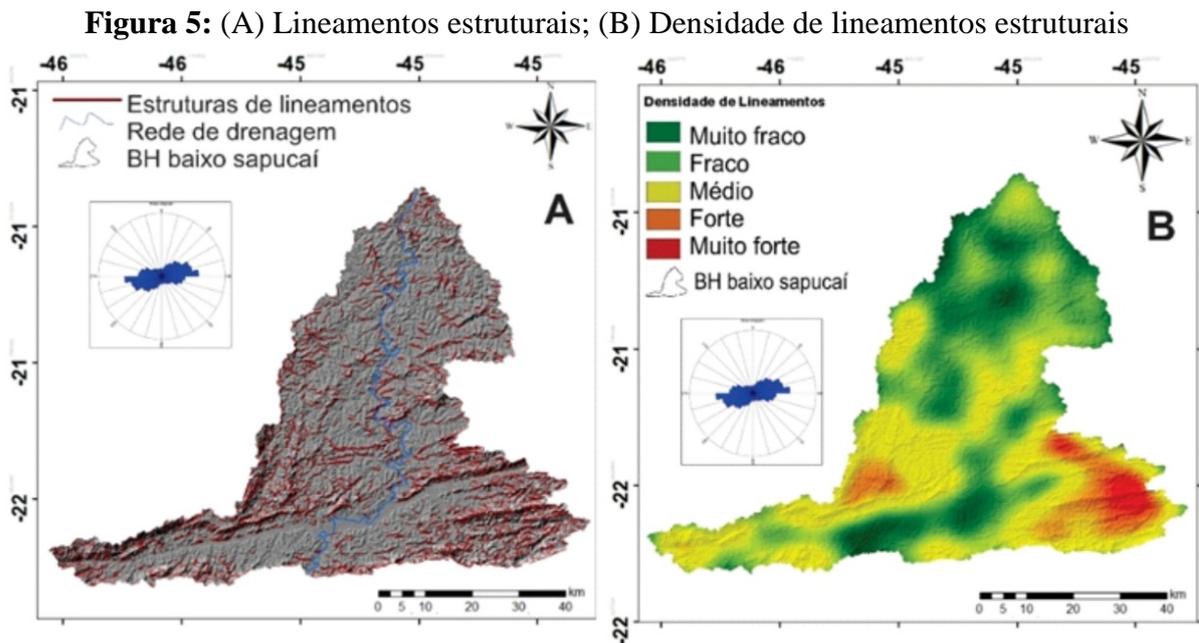


**Fonte:** Autores (2025)

O Fator de Assimetria da Bacia de Drenagem (FADB), com valor de 49,29%, indica baixo grau de basculamento generalizado, mas confirma processos tectônicos setorizados, conforme indicado pelo *FSTT*. A ausência de deslocamentos amplos sugere relativa

estabilidade tectônica atual, embora a rede de drenagem mantenha evidências de forte controle estrutural herdado de eventos neoproterozoicos.

A análise dos lineamentos estruturais mostra maior densidade na porção sudeste da bacia, onde ocorrem falhas transcorrentes e compressivas em litologias como quartzitos, ortognaisses, xistos e gnaisses (Figuras 2 e 5). A oeste, observa-se uma concentração de lineamentos relacionados a falhas de empurrão e transcorrentes, com transição para o Planalto de São Pedro de Caldas (Figuras 1C, 2 e 12).



Fonte: Autores (2025)

O diagrama de rosetas indica direções predominantes dos lineamentos em 50°, 90°, 225° e 270°, refletindo padrões NW-SE e E-W, compatíveis com o *trend* regional do Rifte do Sudeste Brasileiro e as regiões com maior concentração de falhas (Figura 13). A coincidência entre esses alinhamentos e os cursos da drenagem corrobora o controle tectônico direto sobre a rede hidrográfica.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise morfométrica e estrutural da bacia do Baixo Sapucaí evidencia que a organização da rede de drenagem é fortemente condicionada por falhas geológicas. Os índices aplicados (*Dd*, *Dh*, *FSTT*, *FADB* e *Is*) demonstram que o padrão de escoamento, a densidade de canais, a simetria da bacia e a sinuosidade fluvial refletem a compartimentação estrutural e as variações litológicas da região.



A integração de parâmetros morfológicos, geológicos e estruturais é essencial para compreender a dinâmica da drenagem e a evolução geomorfológica da bacia. O trabalho atinge seu objetivo ao demonstrar, de forma integrada, como a tectônica condiciona a morfologia fluvial e a compartimentação do relevo no Baixo Sapucaí.

**Palavras-chave:** Geomorfologia estrutural; Morfometria; Litologia; Análise espacial.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio concedido por meio da Chamada 016/2024, destinada à participação coletiva em eventos técnico-científicos.

## **REFERÊNCIAS**

- ANA. **Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Grande. Brasília:** ANA, 2014. Escala; 1:50.000.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1980. 188 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1999. 256 p.
- COX, R. T. Analysis of drainage and basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. **GSA Bull**, v. 106, n. 5, p. 571–581, 1994.
- CRUZ, B. L. et al. Reorganization of the drainage network based on morphostructural controls in passive margins. **Geomorphology**, v.478, 109693, 2025.
- GILBERT, G. K. **Report on the Geology of the Henry Mountains**. U.S. Geographical and Geological Survey of the Rocky Mountains Region Government Printing Office, Washington, D.C. 1877, 160 p.
- GUTIÉRREZ, M. **Geomorfologia**. Editorial Prentice Hall. Madrid, España, 2008. 920 p.
- HARE P. W; GARDNER I. W. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins. Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: MORISAWA, M.; HACK, J. T., (Eds). **Tectonic Geomorphology**. Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium, Allen and Unwin, Boston, p.123-134, 1985.
- HASUI, Y. A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional. **Geociências**, v. 29, p. 141-169, 2010.



HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society Of America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275, 1945.

HUTTON, J. X. Theory of the Earth; or an Investigation of the Laws Observable in the Composition, Dissolution, and Restoration of Land upon the Globe. **Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh**, v.1, p. 209-304, 1788.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geomorfologia 1:250.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Escala 1:50.000.

MIGON, P. Morphotectonics. In: GOUDIE, A. (Ed.). **Encyclopedia of Geomorphology**. v. 2 (J-Z), Routledge, 2004. p. 699.

MILLER, V. C. **Quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee**. Technical Report no. 3, Project Number 389-402. Department of Geology, Columbia University, N. Y, 1953.

POWELL, J. W. **Exploration of the Colorado River of the West and its tributaries: Explored in 1869, 1870, 1871, and 1872, under the direction of the Secretary of the Smithsonian Institution**. Monograph, 1875. 291 p.

POWELL, J. W. **Exploration of the Colorado River of the West and its tributaries: explored in 1869, 1870, 1871, and 1872, under the direction of the Secretary of the Smithsonian Institution**. Monograph, U.S. Geographical and Geological Survey of the Rocky Mountain Region. Washington, D.C.: Government Printing Office, 1875. xi, 291 p.

REIS, I. L., et al. Morphometric parameters of the relief and drainage network of the 45 Formiga River subbasin, Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 2, e2311, 2023.

RICCOMINI, C.; ASSUMPÇÃO, M. Quaternary tectonics in Brazil. **Episodes**, v. 22, n. 3, p. 221-225, 1999.

SCHUMM, S. A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. **Geological Society of America Bulletin**, v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963.

SILVA, M. A. et al. **Mapa geológico do Estado de Minas Gerais**. CPRM, 2020. Escala 1:1.000.000.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 336 p.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2003. 416 p.