



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

A HIDROGRAFIA NO NOROESTE DE MINAS GERAIS: REARRANJOS DE DRENAGEM COMO EVIDÊNCIAS DE MOVIMENTOS RECENTES DA CROSTA

Mário Teixeira Rodrigues Bragança ¹
Luiz Fernando de Paula Barros ²
Déborah de Oliveira ³

RESUMO

Anomalias de traçado e padrões incomuns na organização dos canais fluviais (ou parte destes) podem indicar a reorganização da rede de drenagem por processos diversos, tanto por respostas passivas da drenagem a antigas feições litoestruturais, quanto pela reação a processos tectônicos ativos. No Noroeste de Minas Gerais, evidências hidrogeomorfológicas apontam para mudanças expressivas na dinâmica dos canais fluviais e para importante reorganização da drenagem, o que sugere reativação tectônica recente e de pequena magnitude. Este trabalho investiga anomalias de traçado em canais das bacias dos Rios Paracatu e Urucuia, na margem esquerda do Rio São Francisco. Essa abordagem procurou identificar possíveis características da hidrografia regional decorrentes de movimentos recentes da crosta. Modelagens digitais da hipsometria, relevo sombreado e declividade sobre MDE Palsar e imagens de satélite da Plataforma Google Earth nortearam a identificação, o mapeamento e a caracterização de feições anômalas da hidrografia, como tributários farpados, cotovelos, canais entrincheirados, vales secos, desvios e inversões de direção de fluxo; essas feições foram correlacionadas com dados estruturais primários e secundários e vistoriadas em campo. A diversidade de anomalias em canais mostrou ser a expressão espacial do arranjo tectono-estrutural regional na paisagem, resultante de ajustes ocorridos entre o Pleistoceno Superior e o Holoceno, em decorrência do soerguimento geral da Plataforma e ao rebaixamento do nível de base regional, o Rio São Francisco. Essas evidências de reativação tectônica em ambiente intraplaca complementam o marco explicativo da geomorfodinâmica, no contexto da deformação das coberturas cratônicas.

Palavras-chave: Padrões de drenagem, anomalias de drenagem, morfotectônica.

INTRODUÇÃO

Anomalias de traçado e padrões incomuns na organização dos canais fluviais (ou parte destes) podem indicar a reorganização da rede de drenagem por processos diversos, tais como capturas, inversões de sentido do fluxo, mudança na dinâmica de acumulação sedimentar ou dissecação dos vales (BISHOP, 1985). Alguns destes processos decorrem de resposta passiva a antigas feições litoestruturais (SORDI et al., 2022) e outros de reação a processos tectônicos ativos (DUVALL et al., 2020).

¹Professor de Geografia; Prefeitura Municipal de Betim, Betim/MG, mario.teixeira@alumni.usp.br ;

²Professor adjunto do Departamento de Geografia; Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia; Instituto de Geociências/Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, luizbarros@ufmg.br;

³Professora Associada II em regime RDIDP no Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, com vinculação subsidiária junto ao Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, debolive@usp.br.

Embora haja um persistente controle estrutural sobre a orientação geral e o comportamento, até certo ponto esperado, da drenagem tronco no Noroeste de Minas Gerais, as evidências hidrogeomorfológicas apontam para mudanças expressivas na dinâmica dos canais fluviais e para importante reorganização da drenagem, o que sugere reativação tectônica recente e de pequena magnitude (SAADI, 1991; BRAGANÇA, 2022). Este trabalho investiga em detalhe anomalias de traçado em canais nas bacias dos Rios Paracatu e Urucuia, visando discutir possíveis características da hidrografia regional, decorrentes de movimentos recentes da crosta.

Área de estudo

Maiores bacias hidrográficas do Noroeste de Minas Gerais (Figura 1), os Rios Paracatu e Urucuia drenam cerca de 70.000 km²; nascem em torno de 1.120 m de altitude e deságuam no Rio São Francisco, próximo de 447 m. Essa amplitude topográfica da ordem de 673 m é expressão do relevo de planaltos e chapadas, dissecado por uma drenagem pronunciadamente retilínea e encaixada em leito rochoso (BRAGANÇA et al., 2023). Essas bacias se instalaram no contato entre duas províncias geotectônicas: cráton São Francisco e Tocantins (SCHOBENHAUS et al., 1984).

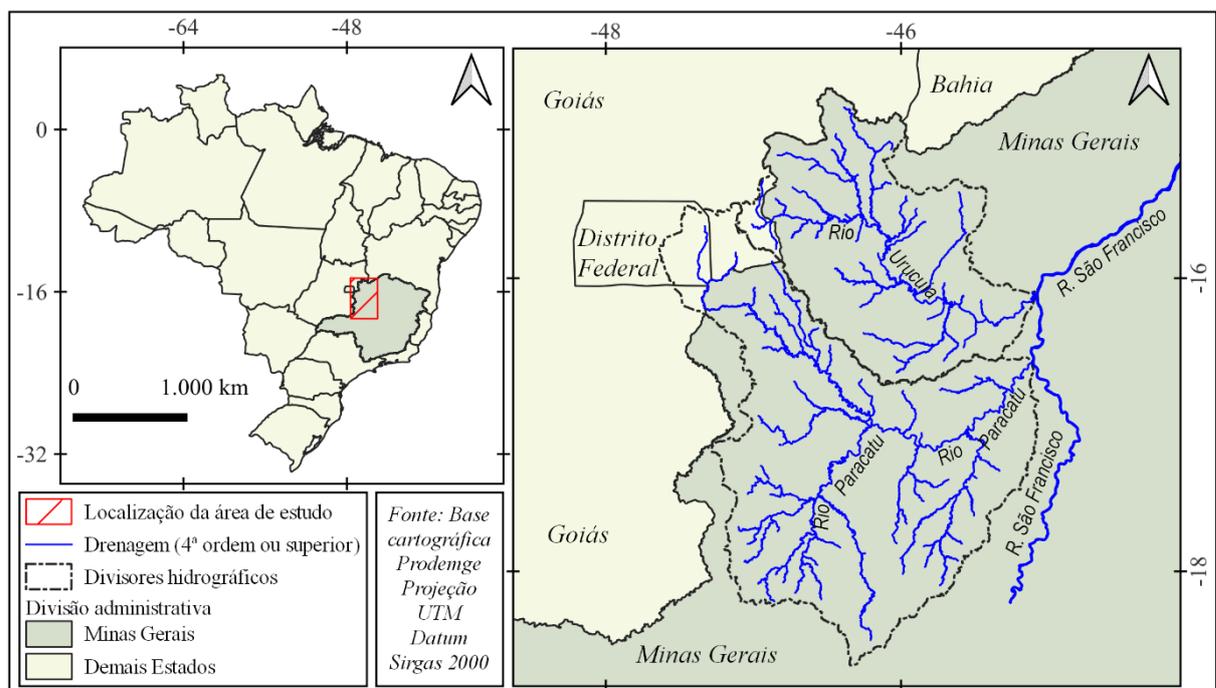


Figura 1: Localização da área de estudo.

Predominam na região, rochas sedimentares e metassedimentares, arenosas e pelito-carbonatadas, do Proterozoico Médio e Superior, essencialmente marinhas, reunidas no Grupo



Bambuú, correspondentes às coberturas cratônicas Pré-Cambrianas (CAMPOS e DARDENNE, 1997). Sobre essas rochas, acumularam-se sedimentos glacio-lacustres do Paleozoico (Permo-Carbonífero), reunidos no Grupo Santa Fé, bem como unidades clásticas, compostas por sedimentos eólicos, flúvio-deltáicos, fluviais e vulcanoclásticos, Cretáceos, reunidos nos Grupos Urucuia, Areado e Mata da Corda. (CAMPOS e DARDENNE, 1997). Formações areno-argilosas cenozoicas inconsolidadas fecharam os ciclos de sedimentação regional no Cenozoico (CAMPOS e DARDENNE, 1997). Essa segunda conjunto forma a cobertura cratônica Fanerozoica.

No Noroeste de Minas Gerais, as províncias Tocantins e São Francisco registraram sua última reorganização tectônica mais expressiva entre o Proterozoico Superior e o Paleozoico Inferior (CAMPOS e DARDENNE, 1997; SAADI, 1991), quando um evento colisional oblíquo levou à deformação de suas coberturas pelito-carbonatadas; transcorrências NW-SE explicam a instalação de duas zonas de cisalhamento regional, paralelas entre si e correlacionadas às formações intermediárias: Serra da Saudade e Lagoa do Jacaré (SCHOBENHAUS et al., 1984).

Duas feições estruturais são importantes na área de estudo. A oeste, o contato tectônico cráton - faixa móvel. Na porção central da área, o Alto estrutural do Paracatu, uma feição tectônica Proterozoica, positiva, atualmente fragmentado em blocos por antigas falhas NW-SE, pré-cambrianas, adjacentes ao contato anteriormente mencionado (SCHOBENHAUS et al., 1984; CAMPOS e DARDENNE, 1997).

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais e procedimentos gerais

Modelos da hipsometria, relevo sombreado e declividade foram processados a partir de 44 cenas do modelo digital de elevação (MDE) *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar* (Palsar), com resolução espacial de 12,5 m e correção radiométrica de terreno de alta resolução (ASF-DAAC, 2015). Esse procedimento foi realizado no QGIS (QGIS Development Team, 2021) e abrange o polígono envolvente das duas bacias hidrográficas em questão, Paracatu e Urucuia.

A hipsometria foi distribuída em equidistância de 5 m, entre 477 e 700 m de altitude; acima de 700 m foi definida equidistância de 25 m. Abaixo de 700 m, há vertentes bastante dissecadas por canais encaixados em leitos rochosos, fortemente controlados por uma densa



rede de fraturas, assim como espessos pacotes de sedimentos aluviais (BRAGANÇA, 2022; BRAGANÇA et al., 2022). Acima de 700 m, a morfologia é plana e informa pouco sobre anomalias de drenagem na escala do trabalho.

A hipsometria foi combinada com modelos de relevo sombreado, com vários ângulos de incidência solar (45°, 135°, 225° e 315°), utilizando operações de álgebra de mapas, envolvendo a multiplicação e a combinação de imagens derivadas do MDE. As melhores medidas de altura da incidência solar também foram selecionadas (25°, 28°, 35°, 45°). Esses produtos subsidiaram a confecção automática de perfis topográficos. Utilizou-se exagero vertical de 10 vezes, para visualização e avaliação de potenciais anomalias de drenagem. Todas as operações correspondentes foram realizadas no QGIS.

Caracterização e mapeamento de padrões de drenagem

“Denomina-se padrão de drenagem ao arranjo espacial do conjunto de canais que formam uma rede numa determinada área” (JESUS e BARRETO, 2021). Esses padrões foram delimitados com base em diferentes aproximações escalares, buscando-se associação com definições da literatura (ZERNITZ, 1932; PARVIS, 1950, HOWARD, 1967). Os limites foram vetorizados sobre a hidrografia, sobreposta aos modelos de terreno e à imagem de satélite Google Earth e ajustados à escala 1:100.000.

Identificação e mapeamento de anomalias nos canais de drenagem

Anomalias de drenagem são “desvios locais dos padrões de drenagem e fluxo que em outros lugares estão de acordo com a geologia e a topografia regional conhecida” (HOWARD, 1967). Nesta avaliação, foram identificadas características inesperadas ao longo do percurso de canais de quarta ordem ou superior, definidas como anomalias. Foram investigadas e mapeadas as seguintes tipologias de anomalias nos canais:

i) tributários farpados: Canais tributários que formam ângulos obtusos ($> 90^\circ$) com as correntes tronco, na direção inversa ao fluxo principal. Essa feição pode configurar indícios de uma história longa e complexa da rede de drenagem, em áreas de tectônica discreta e pouco pronunciada.

ii) drenagem entrincheirada: um rio (ou trecho de rio), aproximadamente retilíneo, que flui em uma trincheira ou vale estreito, escavado na rocha ou nos próprios sedimentos, em razão do aumento da energia potencial do curso d'água. As possíveis explicações para o



entrincheiramento da drenagem consideram, entre outras razões, o falhamento extensional a jusante, o soerguimento diferencial, a denudação regional e a redução pronunciada dos volumes de chuva (ANTEVS, 1952), além de mudanças importantes no nível de base.

iii) vales secos: paleocanais indicados pela presença de sedimentos aluviais ou ocorrência de hidromorfismo, que interfere no desenvolvimento da vegetação no local.

iv) desvios: deflexões da drenagem com mudanças na direção de fluxo dos rios, rearranjos e eventuais modificações na área de uma ou mais bacias. “O desvio configura um processo descendente que envolve o rompimento de um divisor hidrográfico, ocasionando transferência de áreas de captação interbacias e a persistência das linhas de drenagem” (BISHOP, 1995).

Adotou-se como escala trabalho a malha vetorial da drenagem da carta topográfica 1:100.000 (PRODEMGE, s/d). As anomalias foram mapeadas, organizadas em tipologias, nomeadas conforme modelos propostos (ZERNITZ, 1932; PARVIS, 1950; HOWARD, 1967; TWIDALE, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O significado geomorfológico dos padrões de drenagem

Os padrões de drenagem configuram a expressão espacial do substrato, modificado pelo arranjo estrutural regional, pela geomorfodinâmica e pelo clima, dentre outros. (PARVIS, 1950; HOWARD, 1967). Portanto, permitem conhecer a variação espacial da atuação dos condicionantes geológicos sobre a geomorfologia. Localizada no contato entre duas províncias geotectônicas, a área de estudo pode ser melhor compreendida pela organização espacial de sua rede hidrográfica, na qual a hierarquia fluvial e os padrões de drenagem marcam a passagem dos cursos d'água sobre diferentes substratos de rochas areníticas, carbonatadas, sedimentares e epiclásticas.

Cada padrão de drenagem tem suas próprias características, refletidas nos aspectos topológico e geométrico, em razão da combinação de diferentes variáveis, como a litologia, a estrutura, a geometria, os diferentes graus de permeabilidade do substrato (ZERNITZ, 1932; PARVIS, 1950; HOWARD, 1967). Dada a grande extensão da área de estudo, a diversidade de padrões de drenagem é expressão da variedade e história litológica, estrutural e paleotectônica, associada a uma bacia *foreland*, com preservação significativa da estratificação horizontal dos acamamentos sedimentares, preservada de reorganizações



tectônicas desde o final do Paleozoico (HASUI, 1990). Portanto, essa “disposição espacial dos cursos d’água pode evidenciar características morfogênicas, morfotectônicas e morfoestruturais da área” (JESUS e BARRETO, 2021).

Identificação e mapeamento de anomalias em canais de drenagem

Diferentes feições mapeadas em aproximação multiescalar foram associadas a desvios locais dos padrões de drenagem ou em relação ao traçado esperado para os canais: i) **tributários farpados**, ii) **canais entrincheirados**, iii) **vales secos e desvios**.

i) Tributários farpados

Os tributários farpados são feição anômala recorrente no Noroeste de Minas Gerais (BRAGANÇA et al., 2023), observados em escalas grandes e pequenas e correlacionados ao nítido controle litológico e estrutural dos canais. Possuem maior significado geomorfológico em canais de 4ª ordem e superiores e exibem duas direções associadas ao fraturamento regional. Têm-se junções de direção SE-NW nas margens direitas dos Rios Paracatu e Urucuia e junções de direção NE-SW nas margens esquerdas desses rios. Persistem essas direções para todos os casos observados. Portanto, ocorrem nas duas margens, com variação apenas na direção do fluxo, determinada pela posição do canal principal da bacia. Alguns exemplos de tributários farpados são as confluências do Rio do Sono e o Ribeirão Cotovelo com o Rio Paracatu, bem como as confluências do Ribeirão da Conceição e o Ribeirão da Areia com o Rio Urucuia.

Na escala das sub-bacias, a confluência do Ribeirão São Bartolomeu com o Rio da Caatinga e a confluência do Ribeirão Galho da Ilha com o Ribeirão da Ilha também exemplificam a feição, porém, controlados estruturais locais. Casos inseridos na zona de cisalhamento NNW-SSE destoam desse padrão; porém, não possuem representatividade no contexto macrorregional, como é o caso do Ribeirão da Conceição e seus tributários.

Esses tributários farpados mostraram que a drenagem regional possui um nível elevado de energia, expresso na incisão e na dissecação da paisagem, o que levou a dissecação e completa remoção das coberturas Meso-Cenozoicas ao longo dos vales, a exumação de zonas de fraquezas Brasileiras e o recente entrincheiramento dos canais.

Surgem, porém, certas rupturas topográficas que escapam a esse controle antigo e estão associadas a falhamento Meso-Cenozoico da ordem de até 15 m (CAMPOS e DARDENNE,



1997), provável consequência da migração para oeste e rotação horária da Placa Sulamericana (HASUI, 1990), em conjunto com o contínuo soerguimento da Plataforma Brasileira (SAADI, 1991). Esse cenário levou a uma reacomodação dos blocos do Alto Estrutural do Paracatu, a ponto de interferirem na organização da drenagem.

ii) Canais entrincheirados

Da dissecação e incisão da drenagem nos fraturamentos Pré-Cambriano (NNW-SSE) e Meso-Cenozoico (SW-NE), resultam trechos de canais entrincheirados, principalmente no interior das zonas de falhas, evidenciando tanto o desequilíbrio do nível de base regional como a resistência diferencial do substrato, favorecendo o aprofundamento dos canais principais, por erosão remontante.

iii) Vales secos e desvios

A drenagem de menor ordem se encontra em processo de reorientação, ajustando-se às zonas de fraqueza estrutural do fraturamento Meso-Cenozoico, processo que se correlaciona à reativação de estruturas da cobertura deformada do cráton, a reflexos de reativações do Alto Estrutural do Alto Paranaíba e ao domeamento crustal que levou ao magmatismo Mata da Corda (HASUI e HARALYI, 1991). Vales secos, capturas e desvios, baixos interflúvios difusos e inversões de drenagem são a expressão geomórfica dessa história e ocorrem tanto entre grandes bacias quanto entre sub-bacias contribuintes de um mesmo curso d'água. Trata-se de feições que podem indicar rearranjos de drenagem (BISHOP, 1995; REZENDE et al., 2018) na escala regional.

A captura mais expressiva, descrita na borda ocidental do Escudo Atlântico, foi a incorporação das cabeceiras do Rio Preto pela bacia do Rio Paracatu, aumentando a área desta bacia em cerca de 3.500 km². O Rio São Marcos foi capturado por uma nascente do Rio Preto, que subtraiu a contribuição da Bacia do Rio Paraná e a incorporou à bacia do Rio São Francisco; a expressão morfológica desta captura traduz-se em um trecho de canal invertido (*beheaded valley*) com 9 km de comprimento, seguido de um trecho de canal desajustado (*underfit stream*) com 10 km de extensão (CHEREM et al., 2014).

O desvio do Rio da Prata pela Falha de Galena (Figura 2) deixou registros de vales orientados e alinhamento da drenagem entre essa bacia e o Rio do Sono, sugerindo que as duas unidades já constituíram uma mesma bacia hidrográfica. Canais retilíneos paralelos



CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Noroeste de Minas Gerais, os padrões sub-paralelo a sub-retangular da drenagem de quarta ordem ou superior são a principal expressão superficial e morfológica da estrutura do substrato. Assim, cotovelos, desvios, canais retilíneos e entrincheirados resultam da incisão da drenagem, controlada pela justaposição das direções estruturais regionais (NNW-SSE; NE-SW), complicadas pela Tectônica Paraopeba, que modificou o acamamento original das formações pelito-carbonatadas do Grupo Bambuí. Esse fraturamento condicionou o entrincheiramento dos canais. Por fim, a existência de trechos de canais entrincheirados nos próprios sedimentos, sugerem o rebaixamento do nível de base, paralelamente à reativações plio-plesitocênicas.

Em seu conjunto, as anomalias de drenagem reforçam também a hipótese de episódios contínuos de movimentação de blocos e de reativação do Alto Estrutural do Paracatu. Essa feição torna-se um importante fator de controle do arranjo da rede de drenagem regional, em escalas variadas.

Feições geomórficas de pequenas dimensões, controladas pela estrutura, permitem inferir a reativação e a nucleação de novas pequenas falhas normais, durante o Plio-Pleistoceno. Essa hipótese é corroborada pela existência de um tributário farpado confinado na bacia holocênica subsidente do baixo vale do Ribeirão Cotovelo.

Palavras-chave: Tributários farpados, canais entrincheirados, vales secos, desvios

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo auxílio financeiro e financiamento dos projetos de pesquisa APQ-00770-24 e APQ-00511-21.

REFERÊNCIAS

ANTEVS, E. (1952). Arroyo-Cutting and Filling. *The Journal of Geology*, v. 60, n. 4, p. 375–385, 1952. Doi:10.1086/625985
ASF-DAAC. ALOS PALSAR Radiometric Terrain Corrected high resolution 2015; Includes Material © JAXA/METI 2007. Accessed through ASF-DAAC 27 may 2018. DOI: <https://doi.org/10.5067/JBYK3J6HFSVF>.



- BISHOP, P. Drainage rearrangement by river capture, beheading and diversion. **Progress in Physical Geography**, v. 19, n. 4, p. 449-473, 1995.
- BRAGANÇA, M.T.R. **Morfoestrutura e Morfotectônica no Noroeste de Minas Gerais: o graben holocênico do baixo Ribeirão Cotovelo e seu enquadramento na hidrogeomorfologia regional**. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.
- BRAGANÇA, M.T.R.; BARROS, L.F.P.; OLIVEIRA, D. Curvaturas anômalas e segmentos retilíneos de canais como evidência de controle lito-estrutural da rede de drenagem no noroeste de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 19.; 2022, Rio de Janeiro. Antropoceno: das transformações às metamorfoses das paisagens e do mundo. Rio de Janeiro: IGEOG/PPGEO/UERG, 2022. p. 13-17.
- BRAGANÇA, M. T. R.; BARROS, L. F. P.; OLIVEIRA, D. Morphotectonic and morphostructural investigation in northwestern Minas Gerais State, Brazil: a lineament mapping assessment. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, p. e2322, 2023. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v24i2.2322>
- CAMPOS, J.E.G.; DARDENNE, M.A. Estratigrafia e sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 3, p. 269-294, 1997a.
- DUVALL, A.R.; HERBERT, S.A.; UPTON, P.; TUCKER, G.E.; FLOWERS, R.M.; COLLETT, C. River patterns reveal two stages of landscape evolution at an oblique convergent margin, Marlborough Fault System, New Zealand, **Earth Surf. Dynam.**, 8, 177–194, <https://doi.org/10.5194/esurf-8-177-2020>, 2020.
- HASUI, Y. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. I Workshop sobre Neotect e Sediment Cenozoica Contin no Sudeste Brasileiro. 1., 1990. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBG-Núcleo Minas Gerais. 1990. p. 1–31.
- HASUI, Y.; HARALIY, N.L.E. Aspectos lito-estruturais e geofísicos do soerguimento do Alto Paranaíba. **Geociências**, v. 10, p. 57-77, 1991.
- QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System (versão 3.22). Open Source Geospatial Foundation Project, 2021. Available in: <http://qgis.osgeo.org>.
- REZENDE, E.A.; SALGADO, A.A.R.; CASTRO, P.T.A. Evolução da rede de drenagem e evidências de antigas conexões entre as bacias dos Rios Grande e São Francisco no sudeste brasileiro. **Rev Bras de Geomorfologia**, 19(3) p. 483-501, 2018.
- SAADI, A. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais: tensões intraplaca, descontinuidades crustais e morfogênese**. Tese (Professor Titular) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 1991. 285p
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. (Coords.). **Geologia do Brasil: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 1984. 501 p.
- SORDI, M.V.; SALGADO, A.A.R.; CORDEIRO, C.M.; GOMES, A.A.T.; BARROS, L.F.P.; MAGALHÃES JR., A.P. Drainage network evolution and divide retreat along a passive margin: the permanence of disequilibrium under unfavorable natural conditions in eastern South America. **Physical Geography**, v. 43, p. 1-28, 2022. DOI: [10.1080/02723646.2022.2080798](https://doi.org/10.1080/02723646.2022.2080798).
- TWIDALE, C.R. River patterns and their meaning. **Earth-Science Reviews**, v. 67, p. 159–218, 2004.