

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS LOCALIZADAS NAS ADJACÊNCIAS DA ESCARPA DEVONIANA (ESTADO DO PARANÁ)

Bortolini, W. (UFPR) ; Silveira, C.T. (UFPR) ; Siame, L. (CEREGE)

RESUMO

O estudo da evolução do relevo em margens passivas têm sido um importante tópico de estudo na geomorfologia. Neste contexto, a Escarpa Devoniana, que se localiza na margem passiva sul-americana, apresenta uma série de características anômala. Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar morfometricamente 21 bacias hidrográficas nesta área utilizando índices morfométricos clássicos relacionados a morfologia da bacia. O resultado mostra um predomínio de bacias moderadamente alongadas, sobretudo na bacia do rio Ribeira, geralmente de direção NW-SE. Além disso, várias bacias apresentam forte/moderado basculamento e a maioria está em estágio intermediário de erosão. Suas morfologias, quando anômalas, são geralmente resultados de controle estrutural sobre a drenagem ou de eventos de captura fluviais. No futuro, outros trabalhos podem ser realizados na área destas bacias focando na evolução da Escarpa Devoniana, sobretudo nos processos erosivos e na dinâmica da rede de drenagem.

PALAVRAS CHAVES

Análise morfométrica; Índices geomórficos; Escarpamento Estrutural d; Arco de Ponta Grossa; Índices morfométric

ABSTRACT

The study of relief evolution in passive margins has long been an important topic in geomorphology. In this context, the Devonian Escarpment, which is located on the South American passive margin, presents a series of anomalous characteristics. The objective of this work was thus to morphometrically characterize 21 watersheds in this zone using classic morphometric indices related to the morphology of the basin. The results show a predominance of moderately elongated basins, especially in the Ribeira river basin, generally in a NW-SE direction. In addition, several basins show strong/moderate tilting and most are in an intermediate stage of erosion. Their morphologies, when anomalous, are usually the resulting from structural control over drainage or river capture events. In the future, other works can be carried out in the area of these basins, focusing on the evolution of the Devonian Escarpment, especially in the erosive processes and in the dynamics of the drainage network.

INTRODUÇÃO

A evolução de relevo em áreas de margens continentais passivas têm sido, nas últimas décadas, um importante tópico de investigação no campo da geomorfologia. Pesquisas em diferentes zonas do globo têm sido realizadas, como, por exemplo, na margem ocidental do continente africano (ex.: COCKBURN et al., 2000) e na margem continental australiana (ex.: SEIDL et al., 1996; GODARD et al., 2019), no sudeste asiático (ex.: VANACKER et al., 2007; MANDAL et al., 2015), com o foco de compreender a evolução de relevos que marcam o divisor entre sistemas hidrográficos litorâneos e sistemas hidrográficos continentais. Além dessas zonas citadas, a margem continental passiva sul-americana, também vem sendo alvo de estudos que visaram mensurar seus processos erosivos (CHEREM et al., 2012; SALGADO et al., 2012; BARRETO et al., 2013; SALGADO et al., 2014; MARENT et al., 2018; SORDI et al., 2018; GOMES et al., 2022) e identificar como também analisar processos de rearranjo de rede de drenagens (SORDI et al., 2018; PAIXÃO et al., 2019; PAIXÃO et al., 2020; DAL PAI et al., 2023) e processo de rejuvenescimento topográfico pós-Mioceno (CALEGARI et al., 2021). No contexto do relevo desta zona, se encontra a Escarpa Devoniana, também denominada de Escarpamento Estrutural de Furnas, que se localiza nos estados do Paraná e São Paulo (SOUZA; SOUZA, 2002). A Escarpa Devoniana é caracterizada pela forma crescente,

litologicamente controlado pelos arenitos da Formação Furnas (MELO et al., 2007). Chama a atenção que somente a extensão sul do escarpamento marca o divisor hidrográfico entre a bacia litorânea (rio Ribeira de Iguape) e a bacia continental (rio Paraná), sendo os demais trechos de escarpamento totalmente inseridos na bacia do rio Paraná. Associado a isto, a presença de rios consequentes que rompem o escarpamento através de canyons e drenam rumo ao interior do continente (MELO et al., 2007; SORDI et al., 2022), a presença, nas adjacências, de anomalias de drenagens e processos de pirataria fluvial (SORDI et al., 2022) e as estruturas geológicas ligadas sobretudo ao Arco de Ponta Grossa (APG) (RAPOSO, 1995) e ao Sistema Transcorrente da Lancinha (FIORI, 1992), evidenciam a complexidade e singularidade deste relevo no contexto da margem passiva oriental sul-americana. Deste modo, uma série de trabalhos já se debruçaram em estudar a evolução desta zona de margem continental passiva em questão, com foco no estudo de processos evolutivos do Arco de Ponta Grossa a partir de técnica geocronológica baseada no uso de traços de fissão em apatitas (FRANCO- MAGALHÃES et al., 2010a; 2010b), na quantificação de processos erosivos de longo-termo a partir de técnicas geocronológicas baseada no uso de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ e $(\text{U Th})/\text{He}$ (RIFFEL et al., 2015); na identificação de controles estruturais e litológicos sobre o relevo (FIRMINO; SOUZA FILHO, 2017; SANCHES, 2018; BORTOLINI; SILVEIRA, 2022; SANTOS et al., 2022) e na evolução da rede de drenagem e processos de capturas fluviais (SORDI et al., 2022). Porém, ainda há uma infinidade de gaps que ainda podem ser explorados nas pesquisas geomorfológicas sobre esta área, sobretudo em relação ao processo de evolução da Escarpa Devoniana. Inserido neste contexto, este trabalho teve por objetivo realizar a quantificação de características morfométricas de bacias hidrográficas localizadas no entorno e nas áreas adjacentes a Escarpa Devoniana. Esta caracterização visa identificar possíveis padrões morfométricos entre bacias localizadas em diferentes contextos geomorfológicos, como: bacias localizadas no sistema hidrográfico que drena rumo ao oceano, bacias localizadas no sistema hidrográfico que drena rumo ao interior do continente, bacias hidrográficas localizadas ao front do escarpamento, e bacias hidrográficas localizadas ao reverso do escarpamento. Esta caracterização foi realizada a partir do emprego de índices morfométricos clássicos relacionados a forma, assimetria e estágios erosivos de bacias hidrográficas.

MATERIAL E MÉTODOS

- Caracterização da área de estudo As 21 bacias hidrográficas analisada estão localizadas na região centro- leste do estado do Paraná, onde se encontra o limite entre o Primeiro Planalto Paranaense e o Segundo Planalto Paranaense (OKA-FIORI et al., 2006; MAACK, 2012) (FIGURA 1), sendo destas 11 localizadas na bacia hidrográfica do rio Ribeira, que drenam rumo ao oceano Atlântico, e 10 localizadas na bacia hidrográfica do rio Paraná, que drena rumo ao interior do continente. A leste área é composta, por rochas cristalinas, ígneas e metamórficas do Escudo Paranaense, variando de idades entre o Mesozoico até o Proterozoico Médio, enquanto a oeste a área é composta por rochas sedimentares de idades devonianas a permocarboníferas (MINEROPAR, 2001). Do ponto de vista estrutural, a área é marcada principalmente pelas estruturas de orientação NW-SE ligadas ao Arco de Ponta Grossa (APG) (FERREIRA, 1982; MINEROPAR, 2001), de orientação NE-SW ligadas ao Sistema de Cavalcamento Açungui, o Sistema de Dobramento Apiaí, o Sistema de Transcorrência da Lancinha (FIORI, 1992), além da Zona de Falha Taxaquara (ZALÁN et al., 1987; SADOWSKI, 1991; CASTRO; FERREIRA, 2015) e em menor presença pelas estruturas de orientação E-W do lineamento São Sebastião (CASTRO; FERREIRA, 2015; SANCHES, 2018) e por estruturas N-S (SANCHES, 2018). A geomorfologia é sobretudo marcada pelo relevo de cuesta da Escarpa Devoniana, sustentado pelos arenitos da Formação Furnas (ALMEIDA, 1949). Esta feição marca a borda oriental da Bacia Sedimentar do Paraná (ALMEIDA, 1949), coincidindo com o limite entre o Primeiro e o Segundo Planaltos (OKA-FIORI et al., 2006; MAACK, 2012). A área no Primeiro Planalto é sobretudo marcado por um relevo de alta dissecação, sobretudo nas subunidades morfoesculturais coincidentes a bacia hidrográfica do rio Ribeira, e um relevo de dissecação média na área próxima a planície de Castro; por sua vez, a área no Segundo Planalto é marcado por um relevo de alta/média dissecação na porção central da escarpa e na área mais ao norte, enquanto na porção mais ao sul o relevo apresenta baixa dissecação e porção mais a oeste o relevo se caracteriza pela dissecação média (OKA-FIORI et al., 2006). Junto a escarpa há canyons entalhados por rios que drenam do Primeiro Planalto em direção ao interior do continente, sendo estes o Canyon do Guartelá (rio Iapó) e o Canyon do rio Jaguariaíva (MELO et al., 2007; SORDI et al., 2022). Na zona do divisor de águas entre

as bacias dos rios Ribeira e Paraná, há a presença da Serra do Paranapiacaba (SORDI et al., 2022). Há, identificado na área, a presença de importantes anomalias de drenagem classificadas como cotovelos de drenagem (SORDI et al., 2022). - Materiais e métodos Para este trabalho foi utilizado o MDT Forest and Building DEM versão 1.0 (FABDEM v. 1.0), de resolução espacial de 30 metros (HAWKER et al., 2022), disponível no site da University of Bristol <<https://data.bris.ac.uk/data/dataset/25wfy0f9ukoge2gs7a5mqpq2j7>>. A escolha deste MDT foi devido ao fato do mesmo conter dados de elevação da superfície terrestre, desconsiderando a elevação da vegetação e das construções. Foram delimitadas 21 bacias hidrográficas. A partir dos dados de elevação do FABDEM e das bacias hidrográficas delimitadas, foram calculados dados de altitude máxima (Amax), altitude mínima (Amin), altitude média (Amed), gradiente altimétrico (ΔA), ordem hierárquica de Strahler (So) e declividade média (Dmed). Em seguida, foram calculados os seguintes índices morfométricos (Tabela 1). A delimitação das bacias hidrográficas foi realizada no software GRASS GIS 7.8.4 (GRASS DEVELOPMENT TEAM, 2017), enquanto o cálculo dos dados básicos e dos índices foram realizados nos ambientes QGIS 3.10.12 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2019), TopoToolbox - Matlab R2018a (MathWorks) (SCHWANGHART; SCHERLER, 2014) e WhiteboxTools 2.2.0 (LINDSAY, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As bacias dos dois sistemas hidrográficas, quando comparadas, evidenciam as diferenças morfométricas entre as bacias do rio Ribeira e do rio Paraná na área (Tabela 2). Em geral, as bacias do rio Paraná estão localizadas em maior altitude e apresentam menor gradiente altimétrico e menor declividade média comparada as bacias do rio Ribeira. Quanto a forma, as bacias do rio Ribeira tendem a ser mais alongadas e mais basculadas, entretanto menos assimétricas do que as bacias do rio Paraná. Quanto os valores de Hi, podemos afirmar que nas bacias de ambos os sistemas hidrográficos apresentam-se em moderada fase de erosão, entretanto com níveis de erosão maiores nas bacias do Paraná. Em primeira análise, dois grupos de bacias se destacam pelas morfologias anômalas. O 1o grupo, que contém as bacias WB21_14 e WB21_17, afluente direto do rio Ribeira, apresenta moderado alongamento, forte basculamento e assimetria, além de transição entre o estágio inicial e intermediária de erosão. A forma moderadamente alongada dessas bacias possivelmente é fruto do controle das estruturas NW-SE do APG sobre seus canais principais. O 2o grupo, que contém as bacias WB21_8.1 e WB21_8.5, apresentam forte alongamento, moderada assimetria e basculamento (com exceção da bacia WB21_8.1) e valores de Hi próximos a indicar bacias em fase inicial de erosão. Ambas as bacias do 2o grupo e seus respectivos canais principais apresentam direção controlada pela altitude dos arenitos Furnas (FIRMINO; SOUZA FILHO, 2017), o que explica a forma alongada de ambas na direção E-W/NE-SW. Em um contexto semelhante as bacias WB21_14 e WB21_17, as bacias WB21_29, WB21_33.1 e WB21_33.2 apresentam forte/moderado alongamento e basculamento (com exceção da bacia WB21_33.1), além de orientação NW-SE. Porém, estas bacias se localizam no limite leste da bacia do alto rio Ribeira, enquanto as bacias WB21_14 e WB21_17 se localizam no limite norte, tendo o divisor de águas em relação a bacia do Paraná marcado pela presença da Serra do Paranapiacaba. A forma alongada destas bacias é influenciada pelas estruturas NW-SE do APG. Nas bacias do rio Ribeira ao sul, próximas ao escarpamento, as bacias apresentam baixa assimetria, entretanto forte basculamento. Nas bacias que estão limite com a bacia do Paraná observa-se uma forma alongada ao inverso, onde a orientação do alongamento não corresponde a orientação do canal principal. No caso da bacia WB21_20, a orientação está na direção NE-SW (a mesma da Serra do Paranapiacaba, coincidente ao Sistema de Transcorrência da Lancinha), enquanto no caso da bacia WB21_25.2_Alt a orientação está na direção NW-SE (a mesma da escarpa nesta altura, coincidente ao APG). Na área da bacia WB21_20, Sordi et al. (2022) identificaram cotovelos de capturas de drenagens, que correspondem a eventos de pirataria fluvial. O evento que capturou a área que abrange toda a bacia, segundo os autores, está relacionado a perda de áreas que drenavam em direção ao interior da Depressão do Piraí (DP) (bacia endorreica) para a bacia do rio Ribeira, e também as estruturas NE-SW presentes na área e a eventos tectônicos locais. O controle estrutural sobre a drenagem principal e o evento de captura fluvial são, possivelmente, os principais fatores que influenciam na forma e no basculamento desta bacia. Isto pode, inclusive, sugerir que um quadro também associado a captura fluvial seja um dos fatores responsáveis pela forma e basculamento da bacia WB21_25.2_Alt, visto que a mesma

também se encontra em área de divisor de águas entre os sistemas hidrográficos do rio Ribeira e do rio Paraná. No sistema hidrográfico do rio Paraná, o grupo de bacias WB21_5.2, WB21_7.3 e WB21_7.4 apresentam características morfométricas parecidas, como esperado, pois elas estão ligadas ao contexto evolutivo da DP (SORDI et al., 2022). Conforme Sordi et al. (op. cit), a área destas três bacias correspondem a uma antiga bacia endorreica que atualmente drena em direção ao interior do continente devido a um evento de pirataria fluvial, onde rios como o Iapó e Jaguariaíva romperam a Escarpa Devoniana e capturaram a área desta bacia. Também, em menor grau, afluentes do rio Ribeira capturaram algumas áreas da mesma. Este conjunto de bacias apresentam forma arredondada, fraco basculamento e baixa assimetria (com exceção da bacia WB21_7.4) e baixos valores de declividade média e Hi. Os baixos valores dos últimos dois índices citados podem ser explicados pelo fato da área ser uma antiga bacia endorreica, onde a área mais rebaixada e que concentrava a deposição dos sedimentos corresponde justamente a bacia WB21_7.4, que é a que apresenta os menores valores de declividade média e Hi. Quanto ao basculamento da bacia WB21_7.4, ele é possivelmente resultado do soerguimento da Serra do Paranapiacaba no Mioceno e que originou a bacia endorreica da Depressão do Piraí (SORDI et al., 2022). Nas demais bacias do sistema hidrográfico do Paraná, a WB21_9 e WB21_5.1 apresentam formas moderadamente alongadas, enquanto a bacia WB21_6 apresenta forma arredondada. Por sua vez, as bacias WB21_10 e WB21_7.1 têm forma arredondada, com moderado basculamento e assimetria na WB21_10. A bacia WB21_5.1 é marcada pela orientação NNE-SSW e por conter em sua porção sul a área da bacia WB21_5.2, localizada na Depressão do Piraí. Esta bacia apresenta forte/moderado alongamento, moderada assimetria e um estágio moderado de erosão. O controle estrutural sobre seu canal principal através de juntas e/ou falhas de direção NE-SW e N-S (SANCHES, 2018) explica a forma alongada da bacia, enquanto o evento de pirataria fluvial que capturou a área correspondente a bacia WB21_5.2 (SORDI et al., 2022) pode ter relação com seu moderado basculamento. Ainda em relação ao basculamento visto nesta bacia, Sanches (2018) comenta que o deslocamento para a margem direita do rio principal (rio Jaguariaíva) na altura da escarpa não está ligado a controle tectônico, mas sim a processos erosivos ligados a escarpa. Enquanto isso, a bacia WB21_6 apresenta forma arredondada, assimétrica e basculada. Esta área se trata da bacia do Alto rio das Cinzas. Quando analisada toda a bacia do rio das Cinzas por Santos et al. (2022), é observado que ela apresenta forma alongada, semelhante a bacia WB21_5.1, além de forte basculamento e assimetria. Os autores citam que a bacia demonstra um caráter tectonicamente ativo e alta atividade tectônica, com grande influência das zonas de falhas NW-SE e NE-SW e eventos tectônicos como pulsos de soerguimentos no processo de rejuvenescimento tectônico pós-rifteamento da área. Sanches (2018) indica controle tectônico recente nesta bacia. Ainda segundo Santos et al. (2022, p. 21), a área do Alto Cinzas se encontra sobre uma zona de soerguimento que é “provavelmente resultado de um soerguimento regional expressivo devido aos recorrentes regimes transpressionais pós-rifteamento concomitantemente com rebote isostático denudacional e a reativação de zonas de fraqueza”. Por fim, as bacias WB21_40 e WB21_42, respectivamente, forma arredondada/moderadamente alongada. A bacia WB21_40 apresenta forte basculamento e moderada assimetria, diferente da bacia WB21_42 que não apresenta nenhuma dessas características. Em relação ao estágio de erosão, a primeira bacia está muito erodida, enquanto a segunda se encontra em uma fase transitória entre um estágio intermediário de erosão e um estágio final de erosão. Em resumo, a área apresenta bacias moderadamente alongadas, sobretudo no sistema hidrográfico do rio Ribeira, e com direção NW-SE devido ao controle estrutural do APG sobre vários dos principais canais de drenagem local. Também foi visto forte ou moderado basculamento em várias das bacias analisadas, sendo estes resultados de controle estrutural sobre a rede de drenagem ou de eventos de capturas fluviais. Por fim, a maioria das bacias estão em estágio intermediário de erosão, com exceção das bacias da Depressão do Piraí, se apresentam em estágio final de erosão.

Figura 1 – Geologia da área de estudo

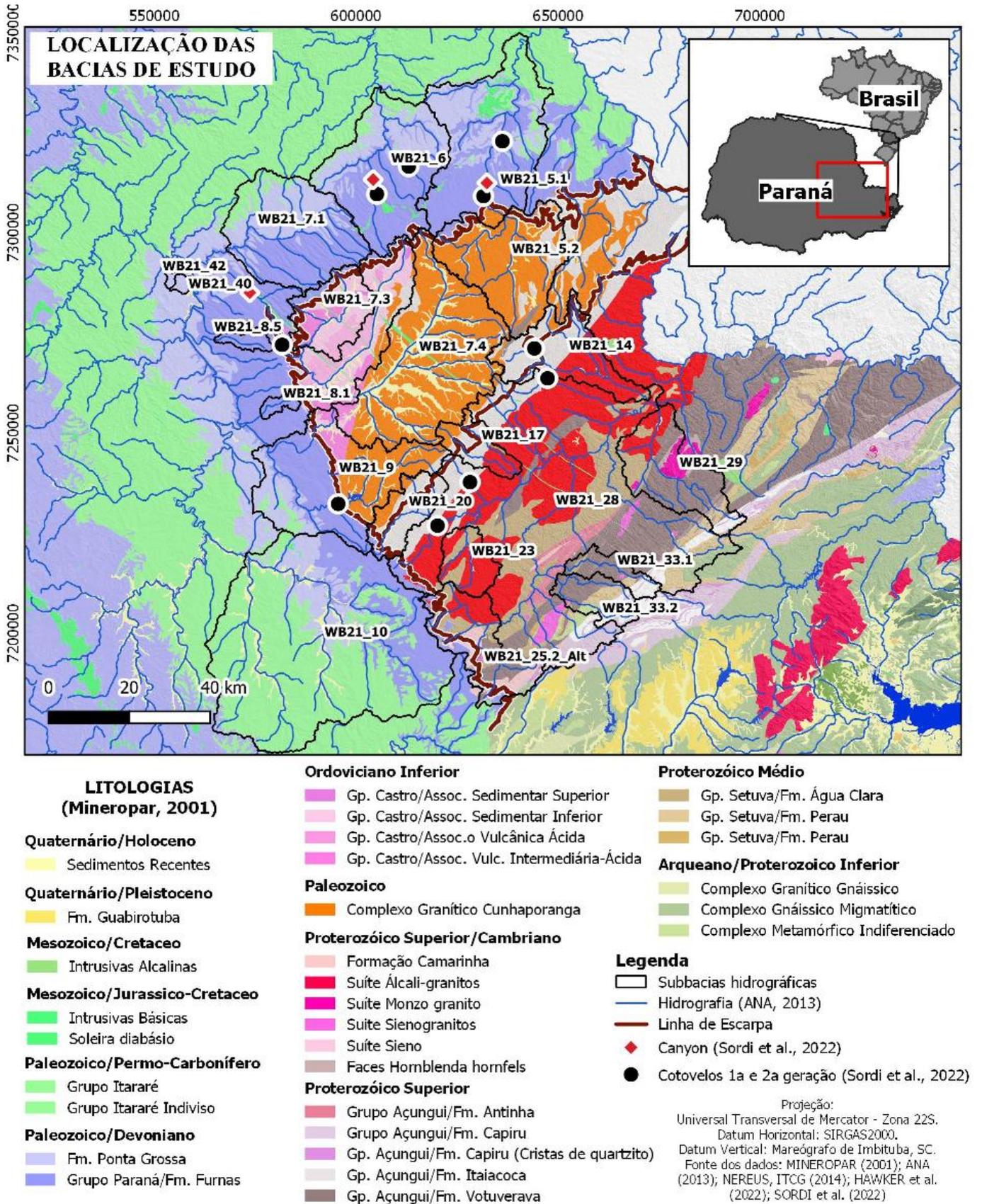


Tabela 1 – Índices morfométricos

Índice morfométrico	Fórmula	Análise	Referencial bibliográfico
Forma da bacia (Bs)	$Bs = Bl/Bw$; sendo Bl a extensão vetorial da nascente à foz e Bw a extensão da máxima largura da bacia	Bacia fortemente alongada ($Bs > 2,3$), bacia moderadamente alongada ($Bs < 2,3$ e $> 1,5$) e bacia arredondada ($Bs < 1,5$)	Ramirez-Herrera (1998); Burbank e Anderson (2001); Cheng et al. (2018)
Taxa de alongamento da bacia (Eb)	$Eb = \sqrt[2]{Ab/\pi/Lb}$, onde Ab é a área da bacia e Lb é a extensão da nascente até a foz	Circular ($Eb > 0,9$), Oval ($Eb > 0,8$ e $< 0,9$), Menos alongada ($Eb > 0,7$ e $< 0,8$) e Alongada ($Eb < 0,7$)	Schumm (1956); Strahler (1964)
Fator de assimetria da bacia (AF)	$AF = 100 * (Ar/At)$; sendo Ar a área do lado direito da bacia (visada para a jusante) e At a área total da bacia	Fortemente basculada (IAF-50I $> 15\%$), moderadamente basculada (IAF-50 $< 15\%$ e $> 7\%$) e fracamente basculada (IAF-50 $< 7\%$)	Hare e Gardner (1985); Keller e Pinter (1996); El Hamdouni et al. (2008)
Fator de simetria transversa (T)	$T = Da/Dd$; sendo Da a distância entre o eixo suavizado do rio e o eixo mediano da bacia e Dd a distância entre o eixo mediano da bacia e o divisor	Bacias simétricas ($T=0$). Quanto mais próximo de $T=1$, mais assimétricas são as bacias	Cox (1994)
Integral hipsométrico (Hi)	$Hi = (Hmed - Hmin) / (Hmax - Hmin)$; sendo Hmed a altitude média da bacia, Hmax a altitude máxima da bacia e Hmin a altitude mínima da bacia	Bacias pouco erodidas, estágio inicial de erosão ($Hi > 0,6$), bacias em erosão moderada, estágio intermediário de erosão ($Hi > 0,35$ e $< 0,6$) e bacias muito erodidas, estágio final de erosão ($Hi < 0,35$)	Adaptação de Strahler (1952)

Adaptado de Santos et al. (2019, p. 290)

Tabela 2 - Resultados da aplicação dos índices morfométricos

Subbacias do rio Ribeira											
Bacias	Dados básicos						Índices morfométricos				
	A _{max} (m)	A _{min} (m)	A _{med} (m)	ΔA (m)	So	D _{med} (%)	Bs	Eb	AF	T	Hi
WB21_14	1309	267	834	1042	6 ^a	23,3	1,8	0,57	33%	0,29	0,54
WB21_17	1121	561	871	560	5 ^a	20,8	2,0	0,64	28%	0,37	0,55
WB21_20	1180	707	910	473	5 ^a	21,0	1,1	1,16	21%	0,18	0,43
WB21_23	1043	610	814	433	5 ^a	21,4	1,1	0,88	30%	0,26	0,47
WB21_25.2_Alt	1218	635	880	582	6 ^a	24,9	1,0	1,11	33%	0,17	0,42
WB21_33.2	1254	601	894	653	5 ^a	25,9	1,7	0,75	16%	0,71	0,45
WB21_33.1	1216	667	895	549	4 ^a	25,9	3,0	0,56	50%	0,18	0,42
WB21_29	1231	261	692	970	5 ^a	32,6	2,0	0,69	42%	0,09	0,44
WB21_28	1312	261	775	1051	7 ^a	27,0	1,1	0,92	45%	0,08	0,49
<i>Média</i>	1218	601	871	582	-----	24,9	1,7	0,80	IAF-50I = 17%	0,18	0,45

Subbacias do rio Paraná											
Bacias	Dados básicos						Índices morfométricos				
	A _{max} (m)	A _{min} (m)	A _{med} (m)	ΔA (m)	So	D _{med} (%)	Bs	Eb	AF	T	Hi
WB21_5.1	1347	513	938	834	6 ^a	14,8	2,2	0,65	40%	0,19	0,51
WB21_5.2	1347	884	993	463	6 ^a	16,5	0,9	1,04	45%	0,13	0,24
WB21_6	1273	568	940	705	6 ^a	12,4	1,2	0,91	73%	0,36	0,53
WB21_7.1	1290	731	981	559	6 ^a	12,2	1,3	0,85	50%	0,14	0,45
WB21_7.3	1291	941	1057	350	5 ^a	13,9	1,1	1,00	49%	0,16	0,33
WB21_7.4	1355	974	1019	381	6 ^a	6,9	1,4	0,89	22%	0,29	0,12
WB21_40	903	700	763	203	3 ^a	10,6	1,1	0,79	33%	0,36	0,31
WB21_42	896	717	784	178	3 ^a	12,8	1,8	0,70	56%	0,22	0,37
WB21_8.5	1237	779	1054	458	4 ^a	11,8	2,7	0,55	36%	0,43	0,6
WB21_8.1	1210	912	1084	298	4 ^a	10,2	2,4	0,69	53%	0,25	0,58
WB21_9	1220	800	972	420	5 ^a	10,0	1,5	0,75	56%	0,38	0,41
WB21_10	1162	782	879	381	7 ^a	8,7	1,0	0,94	35%	0,27	0,26
<i>Média</i>	1255	780	976,68	400,53	-----	12,0	1,35	0,81	IAF-50I = 8%	0,26	0,39

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho se apresenta como uma primeira análise morfométrica dessas bacias hidrográficas localizadas nas proximidades da Escarpa Devoniana. O objetivo foi quantificar as características morfométricas básicas das mesmas e encontrar, com ajuda da literatura pretérita, possíveis explicações para suas respectivas morfologias. Em um futuro abre-se a possibilidade em avançar na análise morfométrica dessas bacias quantificando características ligadas, por exemplo, ao potencial erosivo dos canais de drenagens, a dinâmica da migração de knickpoints, entre outros. A partir disso, pode se objetivar compreender o processo evolutivo da Escarpa Devoniana e de sua área adjacente, com foco nos processos erosivos e na dinâmica da rede de drenagem.

AGRADECIMENTOS

Ao PPGGEO-UFPR; à CAPES pela bolsa de doutorado; ao convênio CAPES-CONFECUB pela bolsa de doutorado sanduíche; ao CNPq pelo fomento ao projeto de pesquisa do Processo: 434343/2018-8; pelos apoios do Projeto Te 981/20 e IRD-França.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, F. F. M. Relevô de "cuestas" na bacia sedimentar do rio Paraná. Boletim Paulista de Geografia. n.3, 1949. p. 21-33.

- BARRETO, H. N.; VARAJÃO, C. A. C.; BRAUCHER, R.; BOURLÈS, D. L.; SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, A. F. D. C. Denudation rates of the Southern Espinhaço Range, Minas Gerais, Brazil, determined by in situ-produced cosmogenic beryllium-10. *Geomorphology*, v. 191, p. 1-13, 2013. DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.01.021
- BORTOLINI, W.; SILVEIRA, C. T. ANÁLISE DA SINUOSIDADE DO FRONT DA ESCARPA DEVONIANA (ESTADOS DO PARANÁ E SÃO PAULO). *Revista de Geografia-PPGEO-UFJF*, v. 12, n. Especial, p. 137-151, 2022. DOI: 10.34019/2236-837X.2022.v1.36739
- BURBANK, D. W.; ANDERSON, R.S. *Tectonic geomorphology*. Massachusetts: Blackwell Science, 2001. 274p.
- CALEGARI, S. S.; PEIFER, D.; NEVES, M. A.; CAXITO, F. A. Post-Miocene topographic rejuvenation in an elevated passive continental margin not characterized by a sharp escarpment (northern end of the Mantiqueira Range, Brazil). *Geomorphology*, v. 393, p. 107946, 2021. DOI:10.1016/j.geomorph.2021.107946
- CASTRO, L. G.; FERREIRA, F. J. F.. Arcabouço geofísico-estrutural da porção meridional do Cinturão Ribeira. *Brazilian Journal of Geology*, v. 45, p. 499-516, 2015. DOI: 10.1590/2317-4889201520150007
- CHENG, Y.; HE, C.; RAO, G.; YAN, B.; LIN, A.; HU, J.; YU, Y.; YAO, Q. Geomorphological and structural characterization of the southern Weihe Graben, central China: Implications for fault segmentation. *Tectonophysics*, v. 722, p. 11-24, 2018. DOI: 10.1016/j.tecto.2017.10.024
- CHEREM, L. F. S.; VARAJÃO, C. A. C.; BRAUCHER, R.; BOURLÈS, D. Long-term evolution of denudational escarpments in southeastern Brazil. *Geomorphology*, v. 173, p. 118-127, 2012. DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.06.002
- 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. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 106, p. 571-581, 1994. DOI: 10.1130/0016-7606(1994)106<0571:AODBSA>2.3.CO;2
- COCKBURN, H. A. P.; BROWN, R. W.; SUMMERFIELD, M. A.; SEIDL, M. A. Quantifying passive margin denudation and landscape development using a combined fission-track thermochronology and cosmogenic isotope analysis approach. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 179, n. 3-4, p. 429-435, 2000. DOI: 10.1016/S0012-821X(00)00144-8
- DAL PAI, M. O.; SALGADO, A. A. R.; SORDI, M. V.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; PAULA, E. V. Comparing morphological investigation with χ index and gilbert metrics for analysis of drainage rearrangement and divide migration in inland plateaus. *Geomorphology*, v. 423, p. 108554, 2023. DOI: 10.1016/j.geomorph.2022.108554
- EL HAMDOUNI, R.; IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, T.; CHACÓN, T.; KELLER, E. A. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96, 150-173, 2008. DOI: 10.1016/j.geomorph.2007.08.004
- FERREIRA, F. J. F. Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa. 1982. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 169 p. 1982.
- FIORI, A. P. Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui-PR. *Boletim IG-USP, Sér.Cient.* v. 3. p. 55-74, 1992. DOI:10.11606/issn.2316-8986.v23i0p55-74

- FIRMINO, I. G. SOUZA FILHO, E. E. Análise de padrões e de anomalias de drenagem da porção média da bacia do rio Tibagi (PR). *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v.18, n.1, p.37-49, 2017. DOI: 10.20502/rbg.v18i1.1144
- FRANCO-MAGALHAES, A. O. B.; HACKSPACHER, P. C.; SAAD, A. R. Exumação tectônica e reativação de paleolineamentos no Arco de Ponta Grossa: termocronologia por traços de fissão em apatitas. *Brazilian Journal of Geology*, v. 40, n. 2, p. 184-195, 2010.
- FRANCO-MAGALHAES, A. O. B.; HACKSPACHER, P. C.; GLASMACHER, U. A.; SAAD, A. R. Rift to post-rift evolution of a “passive” continental margin: the Ponta Grossa Arch, SE Brazil. *International Journal of Earth Sciences*, v. 99, p. 1599-1613, 2010. DOI: 10.1007/s00531-010-0556-8
- GODARD, V.; DOSSETO, A.; FLEURY, J.; BELLIER, O.; SIAME, L.; ASTER TEAM Transient landscape dynamics across the Southeastern Australian Escarpment. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 506, p. 397-406, 2019. DOI: 10.1016/j.epsl.2018.11.017
- GOMES, M. C. V.; VIEIRA, B. C.; SALGADO, A. A. R.; BRAUCHER, R.; ASTERTEAM. Debris flow and long-term denudation rates in a tropical passive margin escarpment in South America. *Geomorphology*, v. 413, p. 108333, 2022. DOI: 10.1016/j.geomorph.2022.108333
- GRASS Development Team, 2017. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 7.2. Open Source Geospatial Foundation. Electronic document: <http://grass.osgeo.org>
- HARE, P.W.; GARDNER, T.W. (1985). Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: MORISAWA, M.; HACK, J.T. (Eds.) *Tectonic Geomorphology*. Allen and Unwin, Boston: p. 75-104.
- HAWKER, L.; UHE, P.; PAULO, L.; SOSA, J.; SAVAGE, J.; SAMPSON, C.; NEAL, J. A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed. *Environmental Research Letters*, v. 17, n. 2, p. 024016, 2022. DOI: 10.1088/1748-9326/ac4d4f
- KELLER, E.A.; PINTER, N. (Eds.). *Active Tectonics. Earthquakes, Uplift, and Landscape*. New Jersey: Prentice- Hall, 1996. 338p.
- LINDSAY, J. B. The whitebox geospatial analysis tools project and open-access GIS. In: *Proceedings of the GIS Research UK 22nd Annual Conference*, The University of Glasgow. 2014. p. 16-18. DOI: 10.13140/RG.2.1.1010.8962
- MAACK, R. R. *Geografia Física do Estado do Paraná*. 4. ed. Ponta Grossa: Ed. UEPG, 2012.
- MANDAL, S. K.; LUPKER, M.; BURG, J. P.; VALLA, P. G.; HAGHIPOUR, N.; CHRISTL, M. Spatial variability of ¹⁰Be-derived erosion rates across the southern Peninsular Indian escarpment: A key to landscape evolution across passive margins. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 425, p. 154-167, 2015. DOI: 10.1016/j.epsl.2015.05.050
- MARENT, B. R.; SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C.; DE PAULA, E. V.; BARRETO, H. N.; VARAJÃO, C. A. C. Importância da denudação diferencial nos granitoides da serra do Mar para a evolução do relevo da região da baía de Antonina-PR, Brasil. *Geosul*, v. 33, n. 67, p. 200-213, 2018. DOI: 10.5007/2177-5230.2018v33n67p200
- MELO, M. S.; GUIMARÃES, G. B.; RAMOS, A. F.; PRIETO, C. C. Relevo e hidrografia dos Campos Gerais. IN: MELO, K. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. *Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná*. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007. p. 49-58.

- MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A. Atlas geológico do estado do Paraná. 116 p. Curitiba, 2001.
- PAIXÃO, R. W.; SALGADO, A. A. R.; DE FREITAS, M. M. Morfogênese do divisor hidrográfico Paraná/Paraíba do Sul: o caso da sub-bacia do Paraibuna. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 20, n. 1, 2019. DOI: 10.20502/rbg.v20i1.1498
- PAIXÃO, R. W.; SALGADO, A. A. R.; DE FREITAS, M. M.; DE ALMEIDA, J. C. H. Possibilidade de endorreísmo e capturas fluviais na morfogênese da bacia do rio Paraíba do Sul. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, n. 4, 2020. DOI:10.20502/rbg.v21i4.1779
- OKA-FIORI, C.; SANTOS, L. J. C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; BRISKI, S. J.; FELIPE, R. S.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná: escala base 1:250.000, modelos reduzidos 1:500.000. MINEROPAR; Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 63 p., 2006.
- QGIS. Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>. 2019
- RAMÍREZ-HERRERA, M.T. Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. *Earth Surf. Proc. Land.*, v. 23, p. 317-332, 1998. DOI: 10.1002/(SICI)1096-9837(199804)23:4<317::AID-ESP845>3.0.CO;2-V
- RAPOSO, M. I. B. Episódios intrusivos no Arco de Ponta Grossa, determinados através de um estudo paleomagnético. *Brazilian Journal of Geology*, v. 25, n. 1, p. 03-19, 1995.
- RIFFEL, S. B.; VASCONCELOS, P. M.; CARMO, I. O.; FARLEY, K. A. Combined ⁴⁰Ar/³⁹Ar and (U-Th)/He geochronological constraints on long-term landscape evolution of the Second Paraná Plateau and its ruiniform surface features, Paraná, Brazil. *Geomorphology*, v. 233, p. 52-63, 2015. DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.10.041
- SADOWSKI, G. R. A megafalha de Cubatão no sudeste brasileiro. *Boletim IG-USP. Série Científica*, v. 22, p. 15-28, 1991. DOI:10.11606/issn.2316-8986.v22i0p15-28
- SALGADO, A. A. R.; SOBRINHO, L. C. G.; CHEREM, L. F. S.; VARAJÃO, C. A. C.; BOURLÈS, D.; BRAUCHER, R.; MARENT, B. R. Estudo da evolução da escarpa entre as bacias do Doce/Paraná em Minas Gerais através da quantificação das taxas de desnudação. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 13, n. 2, 2012. DOI: 10.20502/rbg.v13i2.280
- SALGADO, A. A. R.; MARENT, B. R.; CHEREM, L. F. S.; BOURLÈS, D.; SANTOS, L. J. C.; BRAUCHER, R.; BARRETO, H. N. Denudation and retreat of the serra do mar escarpment in Southern Brazil derived from in situ-produced ¹⁰Be concentration in river sediment. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 39, n. 3, p. 311-319, 2014. DOI: 10.1002/esp.3448
- SANCHES, E. Análise morfotectônica e estrutural das bacias hidrográficas dos rios das Cinzas e Itararé, nordeste do Paraná e sudoeste de São Paulo. 2018. Dissertação (Mestrado em Geologia). Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 154 p. 2018.
- SANTOS, M.; LADEIRA, F. S. B.; BATEZELLI, A. Indicadores geomórficos aplicados à investigação de deformação tectônica: uma revisão. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v. 20, n. 2, 2019. p. 287-316. DOI: 10.20502/rbg.v20i2.1564
- SANTOS, M.; LADEIRA, F. S. B.; BATEZELLI, A.; NUNES, J. O. R.; SALAMUNI, E.; SILVA, C. L.; MOLINA, E. C.; MORAES, I. C. Interactions between tectonics, bedrock inheritance and geomorphic responses of rivers in a post-rifting upland (Ponta Grossa Archregion, Brazil). *Brazilian Journal of Geology*. v. 52, n. 1, p. 1-26, 2022. DOI: 10.1590/2317-4889202220210002

- SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*. v. 67, p. 597-646, 1958. DOI: 10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2
- SCHWANGHART, W.; SCHERLER, D. TopoToolbox 2–MATLAB-based software for topographic analysis and modeling in Earth surface sciences. *Earth Surface Dynamics*, v. 2, n. 1, p. 1-7, 2014. DOI:10.5194/esurf-2-1-2014
- SEIDL, M. A.; WEISSEL, J. K.; PRATSON, L. F. The kinematics and pattern of escarpment retreat across the rifted continental margin of SE Australia. *Basin Research*, v. 8, n. 3, p. 301-316, 1996. DOI: 10.1046/j.1365-2117.1996.00266.x
- SORDI, M. V.; SALGADO, A. A. R.; SIAME, L.; BOURLÈS, D.; PAISANI, J. C.; LÉANNI, L.; BRAUCHER, R.; DO COUTO, E. V.; ASTER TEAM (AUMAÎTRE, G.; KEDDADOUCHE, K.). Implications of drainage rearrangement for passive margin escarpment evolution in southern Brazil. *Geomorphology*, v. 306, p. 155-169, 2018. DOI:10.1016/j.geomorph.2018.01.007
- SORDI, M. V.; DE MORAIS, E. S.; BIFFI, V. H. R. Drainage evolution in the Pirai depression (southern Brazil): evidence for headward erosion in large South American river systems. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 119, p. 104022, 2022. DOI: 10.1016/j.jsames.2022.104022
- SOUZA, C. R. G.; SOUZA, A. P. O Escarpamento Estrutural Furnas, SP/PR - Raro sítio geomorfológico brasileiro. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D. A.; Queiroz, E. T.; Winge, M.; Berbert-Born, M. L. C. (Edits.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. 1. ed. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v.01: 299-306
- STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society America Bulletin*, v. 63, p. 1117-1142, 1952. DOI: 10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2
- STRAHLER, A.N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In CHOW, V.T. (Ed.). *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw Hill Book Company, New York: Section 4-11.
- VANACKER, V.; VON BLANCKENBURG, F.; HEWAWASAM, T.; KUBIK, P. W. Constraining landscape development of the Sri Lankan escarpment with cosmogenic nuclides in river sediment. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 253, n. 3-4, p. 402-414, 2007. DOI: 10.1016/j.epsl.2006.11.003
- ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C.; ASTOLFI, M. A. M; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O. A. Tectônica e sedimentação do Bacia do Paraná. *Atas do III Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia*. Curitiba. v. 1, p. 441-477, 1987.