



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



A Erosão linear e sua relação com a morfometria do relevo na alta Bacia do Rio Capivara – Botucatu (SP)

Higor Lourenzoni Bonzanini¹ Cenira Maria Lupinacci² Estêvão Botura Stefanuto³

¹Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Geografia (UNESP – Rio Claro) (autor correspondente); E-mail: higorbonza@gmail.com ²Doutora em Geomorfologia, Professora do Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental – DGPA da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP – Rio Claro) <mailto:cenira.lupinacci@unesp.br> ³Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Geografia (UNESP – Rio Claro); E-mail: estevao1508@hotmail.com.

Artigo recebido em 29/09/2021 e aceito em 22/06/2022

RESUMO

A erosão dos solos é um problema frequentemente relatado em todo o globo, o qual compromete a utilização do recurso pedológico, essencial para a reprodução da atividade humana. Para as áreas declivosas, como o caso das *Cuestas* Basálticas do Estado de São Paulo, este problema pode se tornar ainda maior a partir das características naturais do terreno, que podem funcionar como catalizadoras dos processos erosivos. A partir disto, o objetivo deste artigo é avaliar a interação das feições erosivas lineares com a morfometria do relevo em área de ocorrência de relevo *cuestiforme*. Para isso, foram elaboradas cartas de declividade, de dissecação vertical, de dissecação horizontal, de energia do relevo e geomorfológica. Foi avaliada a distribuição espacial das feições erosivas lineares, mapeadas na carta geomorfológica, sobre cada classe, de cada carta morfométrica. Assim, constatou-se que na área de estudo, as feições erosivas são condicionadas pela presença do relevo *cuestiforme*, que fornece energia a ação do escoamento de superfície a partir de suas áreas de *front*, com os processos erosivos se concentrando em setores de média e de baixa vertente. Por fim, os resultados obtidos auxiliam na compreensão da dinâmica erosivas em áreas de relevo *cuestiforme*, a partir das características de morfometria do relevo, fornecendo subsídios ao uso adequado da terra e a estudos futuros nesta unidade geomorfológica.

Palavras-chave: Erosão. Morfometria do relevo. Relevo de *cuestas*.

Linear erosion and its relationship with reliefmorphometry in the Upper Capivara River Catchment – Botucatu (SP) – Brazil

ABSTRACT

Soil erosion is a problem frequently reported all over the globe, which compromises the use of the soil resource, essential for the reproduction of human activity. For sloping areas, as is the case of the basaltic *cuestas* of the São Paulo State, this problem can become even greater from the natural characteristics of the area, which can work as catalysts of the erosive processes. From this, the objective of this paper is to evaluate the interaction of linear erosive features with the morphometry of the relief in an area where a *cuesta* relief. To this end, slope, vertical dissection, horizontal dissection, relief energy and geomorphologic maps were elaborated. The spatial distribution of linear erosive features, mapped in the geomorphologic map, was evaluated on each class of each morphometric map. In the study area, the erosive features are conditioned by the presence of the *cuesta* relief, which provides energy to the action of surface runoff from its front areas, with erosive processes concentrated in sectors of medium and low slope. Finally, the results help in the understanding of the erosive dynamics in areas of *cuesta* relief, based on the morphometric characteristics of the relief, providing subsidies for the appropriate use of land and future studies in these locations.

Keywords: Erosion. Reliefmorphometry. *Cuestas* relief.

Introdução

A erosão dos solos tem se acelerado com o aperfeiçoamento técnico, o qual tornou o homem

um agente que promove o rompimento do equilíbrio natural (Chuma et al., 2021; Nir, 1983).

Neste sentido, essa ruptura força o sistema natural a encontrar um novo estado de equilíbrio entre a energia disponível e a sua capacidade de dissipar essa energia (Bak, 1997; Guerra et al., 1999), fato que, na maioria dos casos, acaba por gerar feições erosivas, como ravinhas e voçorocas (Bonzanini et al., 2022; Guerra et al., 1999).

A erosão dos solos se desenvolve de acordo com a intensidade dos processos de superfície, orientada, por exemplo, pela erosividade, que provém da atividade pluviométrica, e a erodibilidade, decorrente das características do solo, além dos atributos das vertentes e do uso e da cobertura vegetal (Chuma et al., 2021; Guerra e Cunha, 1994; Goudie, 1993; Zhao et al., 2022).

Existem fatores facilitadores da erosão intrínsecos ao ambiente, como a topografia. Neste sentido, vale a atenção a setores com elevada inclinação, os quais podem tornar processos como o escoamento laminar críticos do ponto de vista erosivo (Borrelli et al., 2020; Gil et al., 2021; Wu et al., 2021; Zhang et al., 2019; Zhao et al., 2022). Cabecauer e Hofirka (2008) destacam o aumento da ocorrência de processos erosivos em áreas de alta declividade na Eslováquia, fato acarretado após a conversão de florestas em espaços agricultáveis, caracterizando uma típica interferência humana no sistema.

Assim, com relação à ação antrópica, o uso inadequado do solo, caracterizado por ações como o superpastoreio e a remoção da cobertura vegetal para cultivo agrícola, podem desencadear e acelerar processos erosivos (Chuma et al., 2021; Descroix et al., 2008; FAO, 2015; Gashaw et al., 2020; ISRIC, 1992; Zhao et al., 2022). De acordo com Vanacker et al. (2019), em um estudo realizado na região sul do Brasil, evidenciaram que as mudanças no uso da terra, de mata atlântica para pastagens e cultivo agrícola, contribuíram para o aumento nas taxas de erosão do solo.

Desta forma, faz-se necessário a análise e o diagnóstico de caráter geomorfológico da intersecção entre os processos erosivos, as características físicas e o uso da terra, para promover um uso consciente dos solos. (Guerra e Marçal, 2006).

Neste sentido, a morfometria do relevo, entendida como as características geométricas dos terrenos, pode auxiliar na identificação de áreas cuja potencialidade a ocorrência e ao desenvolvimento de processos erosivos sejam expressivos. A análise e quantificação morfométrica é realizada há décadas nos estudos

em geomorfologia. Como destacam Zacharias et al., (2005), a morfometria do relevo constitui-se em importante ferramenta para a interpretação da paisagem geomorfológica. Não obstante, trabalhos como o de Gomes et al. (2016), Zanatta (2018) e Bonzanini et al., (2022) destacam a importância da obtenção e análise dos dados morfométricos quando se pretende observar as dinâmicas erosivas locais.

O relevo de *cuestas* se destaca pelas suas características morfométricas naturais, pois representa um setor de grande declividade, que potencializa a ocorrência de processos erosivos ao conferir energia ao sistema (Stefanuto et al., 2022; Pinton, 2016). Ainda, com o advento do desmatamento e do uso da terra de forma inadequada em áreas de *cuesta*, os processos erosivos se tornam ainda mais intensos e podem assumir maiores magnitudes (Kertzman et al., 1995).

Portanto, a intensificação dos processos erosivos na área que compreende o município de Botucatu, vem sendo relatado por inúmeros pesquisadores, (Araújo Junior et al., 2002; Campos et al., 2004; Ribeiro e Campos 2007; Pisani et al., 2016) os quais alertam para a grande perda de material pedológico e para um processo de assoreamento dos cursos hídricos. Traficante et al. (2017) identificaram alta fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Capivara, no município de Botucatu, evidenciando fatores como a declividade, proveniente do relevo de *cuestas*, e o uso intenso e desenfreado da terra para atividades agrícolas como intensificadores da fragilidade ambiental.

Portanto, tem-se como objetivo deste artigo avaliar a interação das feições erosivas lineares com a morfometria do relevo em área de ocorrência de relevo *cuestiforme*. Para isso foram elaborados documentos cartográficos de setor da alta bacia do Rio Capivara (Botucatu, SP) os quais apresentam o arranjo espacial das feições erosivas, assim como a morfometria do relevo. Os dados obtidos com esses documentos foram quantificados a fim de atingir o objetivo traçado.

Material e métodos

Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo (Figura 1) contempla terrenos drenados por dois afluentes da alta bacia do Rio Capivara, localizada no município de Botucatu (SP).

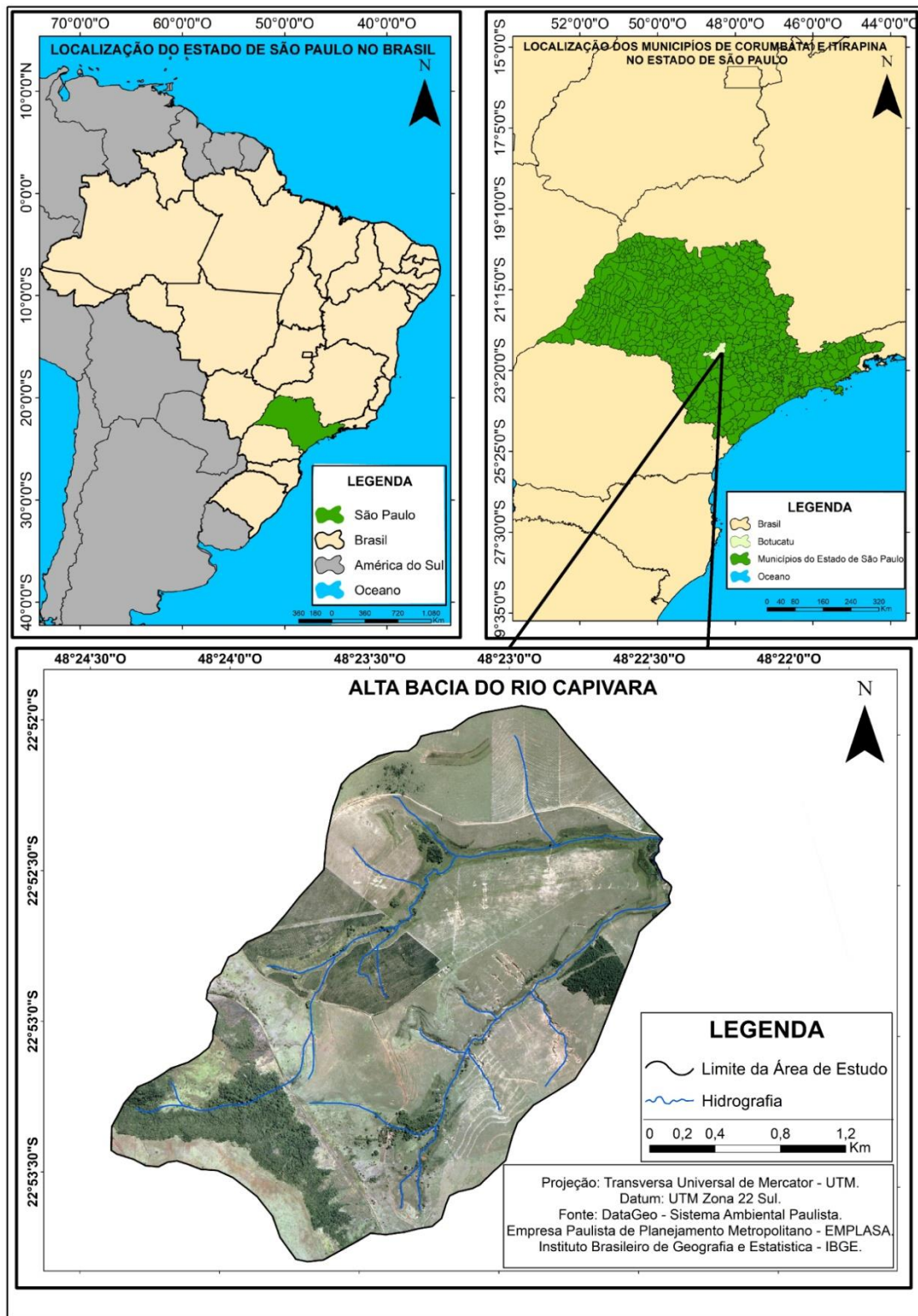


Figura 1. Localização da área de estudo no estado de São Paulo – Botucatu (SP).

A alta bacia do Rio Capivara está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, a qual propicia à área distintas formações geológicas e compartimentos geomorfológicos variados. No setor, destaca-se o contato entre as *Cuestas* Basálticas e a Depressão Periférica Paulista, distinção de relevo orquestrada por erosão

diferencial, ao longo de milhões de anos, de algumas formações geológicas, com destaque para as formações Serra Geral, Botucatu e Piramboia (Figura 2) (Almeida, 1964).

Sustentando o relevo cuestiforme, possuindo muita resistência e sendo a de origem mais recente, a Formação Serra Geral é oriunda dos

derrames basálticos ocasionados pela reativação tectônica durante a separação do Atlântico, ocorrida no período Cretáceo (Almeida, 1964).

Logo abaixo da Formação Serra Geral, revelando suas faces em grande maioria pelo *front* cuestiforme ou até mesmo sustentando este relevo, quando silicificado pelo contato com o basalto, aparecem os arenitos da Formação Botucatu. Esta formação é constituída de arenitos bem selecionados, de origem eólica, caracterizando um paleoambiente de deposição desértico, comum nesta região durante os períodos Jurássico e Cretáceo (Almeida, 1964; Casseti; 2001; Instituto Geológico, 1984).

No setor da Depressão Periférica destaca-se a Formação Pirambóia constituída por arenitos de origem fluvial e eólica, evidenciando um paleoambiente deposicional dinâmico, de transição climática, com oscilações de fácies de dunas, interdunas e de lençóis de areia cortados por canais fluviais sazonais (Soares, 1975; Caetano-Chang e Wu, 2003).

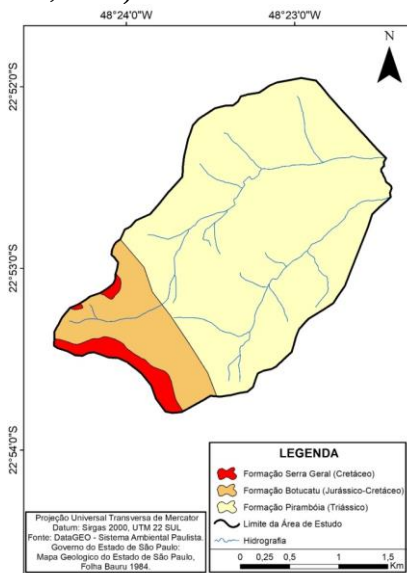


Figura 2. Formações geológicas na área de estudo.

Quanto aos solos (Figura 3), estes possuem grande correlação com as formações geológicas encontradas na área. O levantamento mais recente (Traficante et al., 2017) evidência inúmeras classes pedológicas ao longo de toda a extensão da bacia do Rio Capivara. Contudo, para o recorte desta pesquisa, foram identificadas quatro classes, a saber: Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo), Neossolos Litólicos Eutróficos (Rle), Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos (LVAd) e Gleissolos Háplicos Tb Distrófico (GXbd).

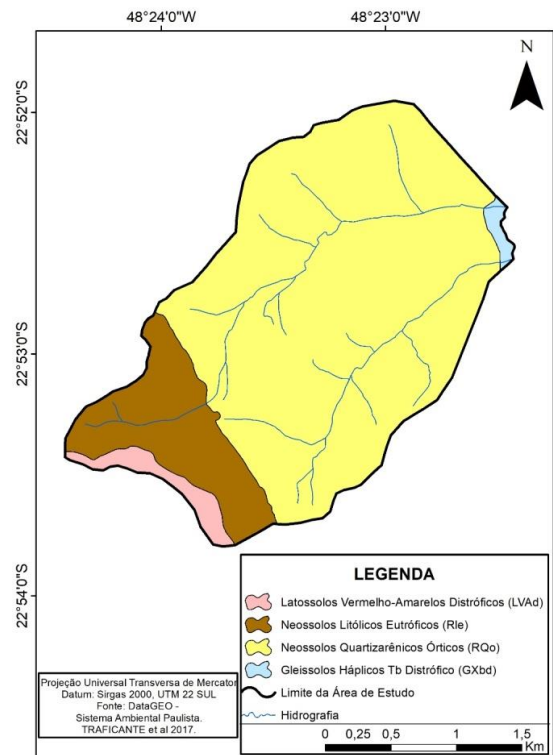


Figura 3. Classes de solo na área de estudo.

Os Neossolos Quartzarênicos Órticos são os predominantes, gerados sobre os sedimentos da Formação Pirambóia (Traficante et al., 2017).

Com uma associação elevada com a declividade, os Neossolos Litólicos Eutróficos são encontrados na região do *front* cuestiforme, sendo pouco desenvolvidos, de baixa profundidade e com alto potencial de rompimento de seu equilíbrio dinâmico (Traficante et al, 2017; EMBRAPA, 2018).

Presentes nas áreas de afloramento da Formação Serra Geral, no reverso da *cuesta*, os Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos são característicos de relevos majoritariamente planos, bem drenados e possuindo grande profundidade. Por estas características, são amplamente utilizados para a agropecuária, mesmo possuindo baixa fertilidade (Traficante et al., 2017; EMBRAPA, 2018).

Por fim, os Gleissolos Háplicos Tb Distróficos são característicos de áreas com saturação de água, que no caso da área de estudo, está correlacionado a planície e a várzea do curso principal do Rio Capivara (Traficante et al, 2017; EMBRAPA, 2018).

Ainda, segundo a classificação climática de Köppen, o município de Botucatu se encontra em clima temperado quente (mesotérmico) úmido (Cfa), possuindo temperatura média de 19°C e pluviosidade média anual de 1324 mm, com grande

concentração das chuvas nos meses de verão (Cunha e Martins, 2009).

Elaboração das Cartas Morfométricas e Geomorfológica

Para a análise morfométrica do relevo, foram elaboradas cartas de dissecação vertical, dissecação horizontal, declividade e de energia do relevo. Foi elaborada também uma carta geomorfológica, a qual tornou possível a obtenção de dados referentes às feições erosivas da área de estudo. Para a elaboração do material cartográfico foi utilizado o software ArcGis, em sua versão 10.5. Como base cartográfica, as curvas de nível, com equidistância de 5m e a hidrografia da bacia foram retiradas de cartas topográficas do IGC, em escala 1:10.000, disponibilizadas pelo DATAGEO, de forma online.

Carta de Dissecação Vertical

Para a elaboração desta carta foram empregadas as propostas metodológicas de Spiridonov (1981) e a adaptação proposta por Mauro et al. (1991). Esta carta evidencia a diferença altimétrica entre a linha de cumeada e o talvegue de cada sub-bacia hidrográfica, levando em consideração as curvas de nível presentes em cada recorte, tornando possível assim a aferição dos setores com maior ou menor grau de desnível topográfico (Cunha, 2001; Gomes et al., 2016).

Com base na proposta de Spiridonov (1981), para demonstrar a intensidade da dissecação vertical presente em cada sub-bacia, foram estabelecidas 6 classes correspondentes aos desníveis altimétricos (Quadro 1). Cada classe representa 10 metros de desnível altimétrico em relação ao talvegue, com a classe mais forte, abarcando qualquer valor igual ou superior a 50 metros.

Quadro 1. Classes, cores e valores estabelecidos para as classes de dissecação vertical.

Classes	Cores em RGB	Divisão em metros
1	R 255/ G 255 / B 115	≤10m
2	R 230/ G 230 / B 0	10-20m
3	R 255/ G 170 / B 0	20-30m
4	R 255/ G 85 / B 0	30-40m
5	R 230/ G 0 / B 0	40-50m
6	R 168/ G 0 / B 0	≥50m

Carta de Dissecação Horizontal

Para a elaboração desta carta também foram consideradas as propostas metodológicas de Spiridonov (1981) e a adaptação proposta por Mauro et al. (1991). A carta de dissecação horizontal é um instrumento fundamental que proporciona a identificação das áreas com maior concentração de cursos hídricos e de nascentes, indicando com isto os setores de maior potencial de atuação da dinâmica erosiva fluvial. Esse documento cartográfico mapeia a distância em linha reta entre o talvegue e a linha de cumeada. Assim, a intensidade da dissecação é inversamente proporcional à distância destas feições.

Com base na metodologia proposta por Spiridonov (1981), as classes foram elaboradas considerando o mínimo mapeável de acordo com a escala (1mm=10 metros) e dobrando-se os valores para as classes posteriores (Quadro 2). Para tal, inicialmente foi realizada a divisão da área em sub-bacias, sendo posteriormente calculada a distância entre cada talvegue e linha de cumeada de cada sub-bacia, usando o recurso da régua do ArcGis.

Quadro 2. Classes, cores e valores estabelecidos para as classes de dissecação horizontal.

Classes	Cores em RGB	Divisão em metros
1	R 115/ G 0 / B 0	≤10m
2	R 230/ G 0 / B 0	11-20m
3	R 255/ G 85 / B 0	21-40m
4	R 255/ G 170 / B 0	41-80m
5	R 255/ G 255 / B 0	81-160m
6	R 152/ G 230 / B 0	161-320m
7	R 112/ G 168 / B 0	≥321m

Carta de Declividade

A carta de declividade identifica áreas cuja inclinação representa um potencial fragilidade do relevo, fato que corrobora com a análise da suscetibilidade aos processos denudativos da área de estudo (De Biasi, 1992).

De forma automática e utilizando-se a ferramenta *Slope -> 3D Analyst tool*, alimentada a partir da geração do *raster*, o ArcGis gerou a carta de declividade. No entanto, a forma automática de elaboração da carta de declividade resultou em um modelo de declividade com algumas características diferentes daquelas identificadas em campo. Assim, buscou-se melhorar tal questão a partir da

inserção de valores a partir de um *shapefile* de correção, adicionando cotas altimétricas aos cursos hídricos e entre algumas curvas de nível, principalmente em áreas de topos, sendo estes os setores que necessitavam das intervenções para a geração da declividade com maior precisão.

Com isso, após a realização das correções, a carta foi processada novamente de forma automática, utilizando-se o *shapefile* das curvas de nível e o das correções, superando assim os erros encontrados previamente na geração automática da carta. As classes da carta de declividade (Quadro 3) foram estabelecidas a partir das indicações de De Biasi (1970), considerando também as características físicas da área de estudo.

Quadro 3. Definição e caracterização das classes de declividade.

Classes de declividade e cores	Limites das classes de declividade em (°) e em (%)	Caracterização
Classe 1	$\leq 1,27^\circ$ $\leq 2\%$	Indica áreas alagáveis e plenamente planas
Classe 2	$1,28^\circ - 3,18^\circ$ $3\% - 5\%$	Áreas ainda suscetíveis a alagamentos e de intenso uso agrícola devido a facilidade de mecanização da agricultura (Pinton; Cunha, 2015; Stefanuto; Lupinacci; 2019).
Classe 3	$3,19 - 7,60^\circ$ $6\% - 12\%$	12% - Limite para o uso da mecanização na agricultura. (De Biasi, 1992; Stefanuto; Lupinacci, 2019).

Classe 4	$7,61^\circ - 18,50^\circ$ $13\% - 30\%$	Áreas cujas ocorrências de feições erosivas lineares se intensificam drasticamente, com baixo aproveitamento para o uso agrícola devido a declividade (Stefanuto; Lupinacci, 2019).
Classe 5	$18,51^\circ - 26,91^\circ$ $31\% - 45\%$	Áreas restritas ao uso agrícola, não só pela dificuldade do manejo, mas também por serem áreas de manejo florestal controlado (Mathias, 2016; Stefanuto; Lupinacci, 2019).
Classe 6	$26,92^\circ - 90^\circ$ $\geq 45\%$	

Carta de Energia do Relevo

Para a elaboração dessa carta foi utilizada a proposta metodológica de Mendes (1993), adaptada para o meio digital por Zanatta e Ferreira (2015).

A carta de energia do relevo evidencia setores de maior potencialidade ao desenvolvimento dos processos denudativos, destacando os setores cuja morfometria é mais intensa. Ainda, para Machado e Cunha (2012), a carta de energia indica também a potencialidade de ocorrência de movimentos de massas.

Desta forma, o processo de elaboração se inicia através da junção das três cartas, utilizando a linguagem *Python* no próprio Arcgis. Para isso, são combinadas as diferentes classes de cada uma das três cartas elaboradas, gerando-se as classes de energia do relevo (Quadro 4).

Quadro 4. Combinação das classes para o estabelecimento da energia do relevo.

Classes de energia do relevo	Declividade (%)	Combinação	Dissecação Horizontal (m)	Combinação	Dissecação Vertical (m)
Muito Forte	$\geq 45\%$	Ou	≤ 10 m	-	-
Forte	31 – 45%	Ou	11 – 20m	Ou	≥ 50 m
Medianamente Forte	13 – 30%	Ou	21 – 40m	Ou	40 – 50m
Média	6 – 12%	Ou	41 – 80m 81 – 160m	- E	30 – 40m 20 – 30m
Fraca	3 – 5%	Ou	161 – 320m	Ou	10 – 20m
Muito Fraca	$\leq 2\%$	Ou	≥ 321 m	Ou	≤ 10 m

Para a combinação de cada classe, foram consideradas as características geomorfológicas da área de estudo, seguindo a proposta de Mendes (1993) e de Zanatta (2018), sendo assim divididas em:

Muito fraca: Abarca terrenos com a menor classe de declividade, de dissecação horizontal e vertical;

Fraca: Destaca os terrenos com pouco declive ou de dissecação horizontal ou vertical ainda baixa;

Média: Demarca os terrenos com declividades ainda apropriadas para a mecanização agrícola e por características intermediárias de dissecação horizontal e vertical;

Medianamente forte: Representa terrenos onde a declividade representa uma barreira ao estabelecimento da mecanização agrícola, indicando ainda áreas de potencial avanço de processos morfogenéticos, indicadas pela intensificação das classes de dissecação vertical ou horizontal;

Forte: Indicam terrenos onde a declividade é bem elevada, com dissecação horizontal elevada e dissecação vertical em sua classe mais alta;

Muito Forte: Declividades mais intensas, igual ou acima de $\geq 45\%$, com quase toda a sua totalidade de ocorrência nos setores do relevo cuneiforme. Ainda, a dissecação horizontal mais elevada indica uma maior probabilidade de desenvolvimento de processos denudativos, em setores próximos a confluência de canais.

Destaca-se ainda que para a classe muito forte de energia do relevo, optou-se por não utilizar os dados referente a dissecação vertical, pois em inúmeros setores da área de estudo ocorrem uma alta dissecação vertical em áreas de topos suaves e planos. O mesmo critério foi levado em consideração pelos trabalhos de Cunha (2001) e de Zanatta (2018).

Carta Geomorfológica

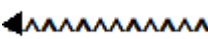
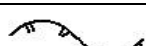
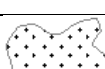
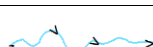
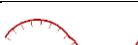
Para a elaboração da carta geomorfológica foi utilizada como base a proposta de Tricart (1965) e de Verstappen e Zuidam (1975), na escala de 1:10.000. Como destaca Tricart (1965), a carta geomorfológica permite ao pesquisador a possibilidade de observar a relação entre a morfoestrutura e os agentes esculturadores do relevo. Verstappen e Zuidam (1975) demonstram a importância do mapeamento geomorfológico como subsídio fundamental ao planejamento ambiental.

Conforme estabelecido por Tricart (1965), a elaboração da carta geomorfológica passou por inúmeras etapas e apresenta os dados a seguir: morfometria, mapeada pelas curvas de nível e hidrografia; morfografia, mapeada pelos símbolos que evidenciam as formas de relevo (rupturas topográficas, formas de vertentes e de vales, feições erosivas e demais feições relacionadas) e morfogênese, por meio do agrupamento dos símbolos que denotam os processos originários das formas (feições de origem denudativa, feições resultantes da ação das águas correntes e modelado antrópico). A cronologia das formas não foi representada na carta, porém, a cronologia dos materiais referente as formações litológicas que sustentam as formas de relevo, foram apresentadas.

Para o mapeamento das feições foram utilizadas ortofotos digitais da EMPLASA, registradas no ano de 2010. O mapeamento foi reambulado em campo no ano de 2020. A elaboração da simbologia no ArcGis foi realizada de acordo com os procedimentos técnicos propostos por Paschoal, Conceição e Cunha (2010). Ainda, os símbolos (Quadro 5) se basearam tanto nas propostas originais de Tricart (1965) e de Verstappen e Zuidam (1975), como em Simon (2007), Stefanuto e Lupinacci (2017) e Zannata, Lupinacci e Boin (2019).

Quadro 5. Estruturação da legenda que compõe a carta geomorfológica da área de estudo do ano de 2010.

Grupos	Elementos/Formas	Símbolo
Litologias e Formas de Origem Estrutural	Cretáceo - Formação Serra Geral	
	Jurássico - Formação Botucatu	
	Triássico - Formação Pirambóia	
	Front de Cuesta	

Formas de Vertentes e Interflúvio	Vertente	Côncava		
		Convexa		
		Vertente Retilínea		
	Formas Localizadas	Colo Topográfico		
		Erosão Laminar		
		Sulcos Erosivos		
		Ravinas		
		Terracetes		
		Topo de morro testemunho		
		Borda de Morro Testemunho		
		Talude de Voçoroca		
		Rupturas topográficas	Suave	
	Abrupta			
	Com Afloramento de Água			
Ações das Águas Correntes	Feições Hidrográficas	Canais de drenagem	Fluvial	
			Pluvial	
	Formas de Acumulação	Leque Aluvial		
		Acumulação de Planície e Terraço Fluvial		
	Fundos de Vale	Plano		
		Encaixado		
Modelado Antrópico	Terraços Agrícolas			
	Lagos			
	Ruptura Antrópica			
	Bacia de Contenção			
Morfometria	Curvas de Nível			
	Linha de Cumeada Suave			

Tratamento dos Dados de Feições Erosivas por Classe das Cartas Morfométricas

Nesta etapa, foram quantificadas as feições erosivas lineares que ocorrem em cada uma das classes, de cada carta morfométrica. As feições erosivas foram quantificadas em número, quando se tratavam de sulcos e de ravinas, e em extensão (em metros) dos taludes, quando se tratavam de voçorocas.

Inicialmente, no ArcMap, sobre cada uma das cartas, foram adicionados os *shapefiles* das feições erosivas as quais foram contabilizadas manualmente. A partir da contagem de sulcos, de ravinas e da extensão em metros dos taludes de voçorocas, foi obtido um valor bruto total para cada uma das classes. Calculou-se porcentagem de feições erosivas que ocorriam em cada classe. Com o resultado da porcentagem das feições, dividiu-se este valor pela porcentagem total da área que cada classe morfométrica ocupa na bacia, gerando um valor ponderado em função da dimensão de área ocupada por cada classe. Para facilitar a leitura dos dados, tais informações foram transformadas em índice de 0 a 1 para cada carta, sendo o valor 1 o que indica o maior índice de ocorrência de feições.

Resultados e discussão

As cartas morfométricas elaboradas delimitam setores nos quais as características naturais do terreno podem condicionar e facilitar a ocorrência de feições erosivas.

A carta de declividade (Figura 4A), demarca um domínio substancial das classes intermediárias, que variam de 6 a 12% e de 13 a 30% de declividade. Com isso, boa parte do relevo da Depressão Periférica se encontra inserido nestas características de declividade, com apenas alguns setores apresentando as classes mais elevadas, que variam de 31 – 45% e com mais de 45%. Ainda, o setor do *front* cuestiforme é caracterizado pelas classes mais elevadas de declividade, recobrando também os morros testemunhos, estando estas localidades entre as classes 31 – 45% e com mais de 45% de declive.

A partir da análise da carta de dissecação vertical (Figura 4B), denota-se que esta característica morfométrica possui grande influência no setor cuestiforme. Desta forma, os

setores de nascentes dos cursos hídricos, próximos ao *front* e aos morros testemunhos, possuem valores elevados de dissecação vertical, devido ao grande desnível altimétrico proporcionado pelo entalhamento dos canais e pela presença do relevo de *cuesta*. O domínio contínuo da classe de dissecação vertical mais forte (>50) ressalta a grande variação altimétrica das sub-bacias nestas regiões.

A carta de dissecação horizontal (Figura 4C) destaca as classes mais intensas nos setores de confluência dos cursos hídricos. As confluências ocorrem principalmente no setor da Depressão Periférica, enquanto a região do relevo cuestiforme constitui-se em um imponente divisor de bacias, com poucas confluências e, portanto, com baixa dissecação horizontal. Com isso, de forma geral, a predominância das classes mais baixas de dissecação horizontal, demonstra o baixo número de rios na área de relevo cuestiforme, concentrando boa parte das nascentes e das confluências na área central da bacia, sob o domínio da Depressão Periférica e da Formação Pirambóia.

A carta de energia do relevo (Figura 4D), teoricamente, destaca os setores com maior potencial aos processos denudativos na bacia (Mendes, 1993), os quais merecem uma maior atenção. Destacam-se as áreas de topo e de terrenos elevados, incluindo o relevo cuestiforme em sua totalidade, em conjunto com os morros testemunhos e as áreas de confluência dos cursos hídricos, representados pelas classes forte e muito forte de energia do relevo.

Ainda, setores em média vertente na área da Depressão Periférica apresentam energia do relevo dominada pela classe medianamente forte. Já as áreas próximas aos principais cursos fluviais da bacia, predominam as classes média e fraca de energia do relevo, com exceção dos setores próximos as nascentes e as confluências fluviais.

Dessa maneira, destaca-se principalmente o acúmulo de energia do relevo nas áreas mais elevadas da bacia, com o processo de distribuição da energia partindo do topo para as áreas mais baixas. Este fenômeno pode auxiliar o entendimento das características do relevo documentadas na carta geomorfológica.

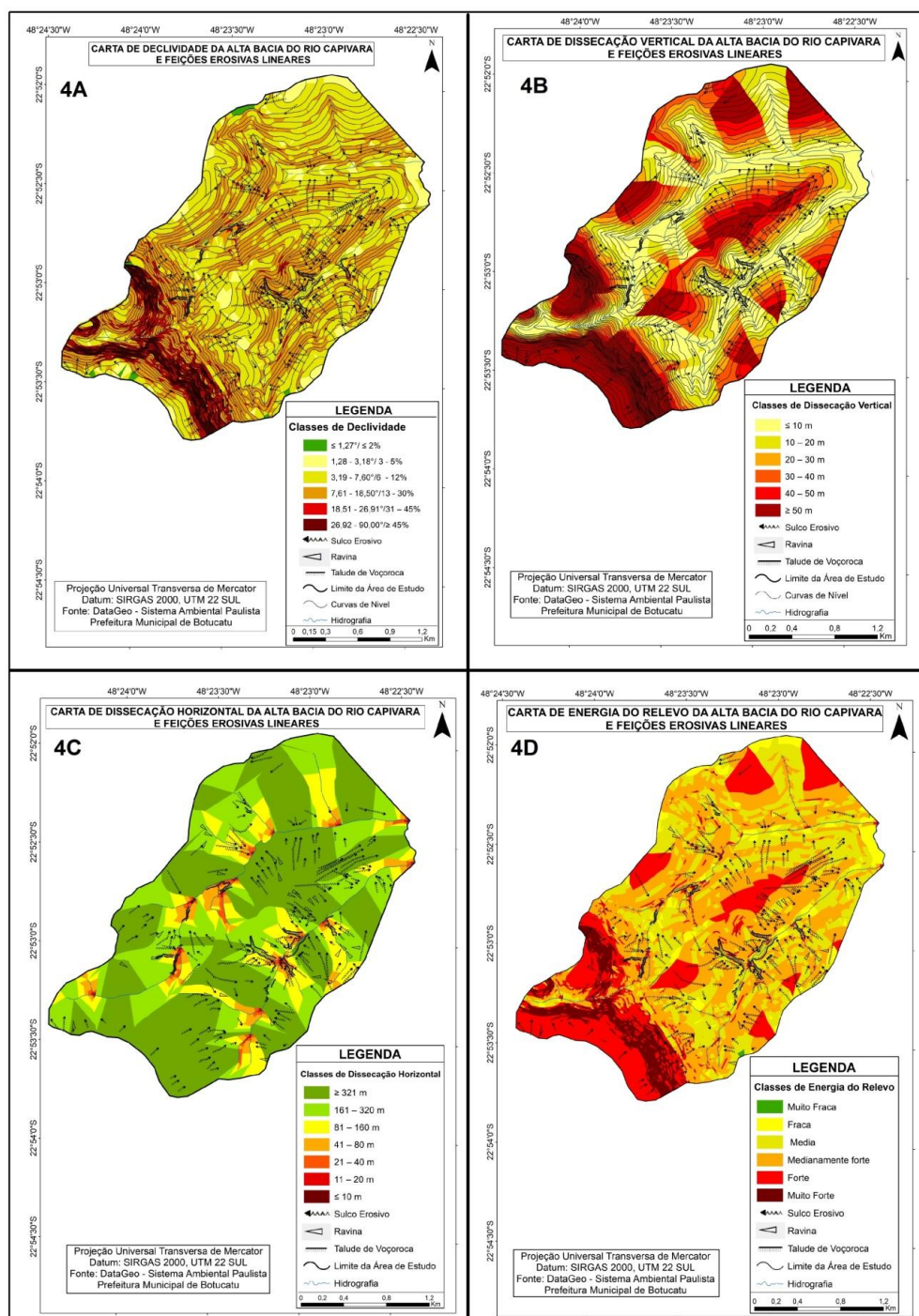


Figura 4. Cartas morfométricas da alta bacia do Rio Capivara.

A partir da elaboração da carta geomorfológica da alta bacia do Rio Capivara (Figura 5) tornou-se possível identificar as feições erosivas lineares e avaliar sua distribuição na área

de estudo. Ao todo, foram contabilizados 185 sulcos erosivos, 37 ravinas e 5028 metros de extensão de talude de voçorocas.

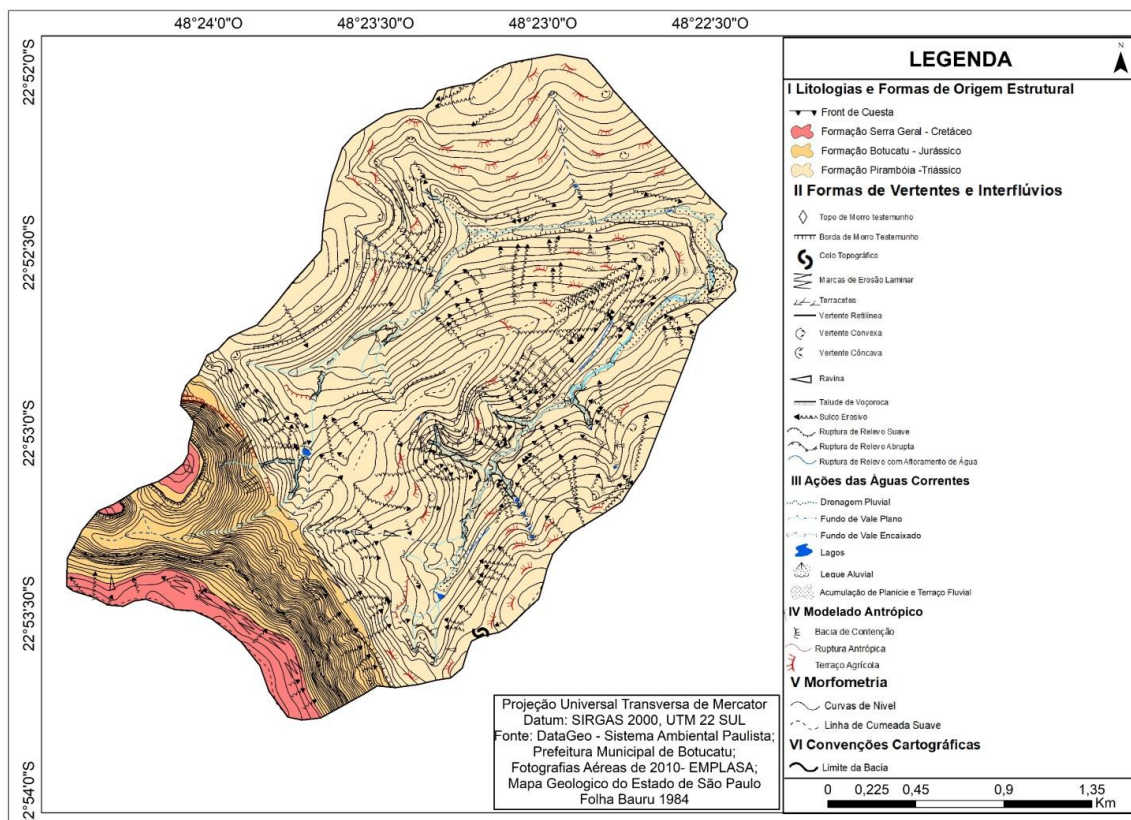


Figura 5. Carta geomorfológica da alta bacia do Rio Capivara do ano de 2010.

De forma geral, além das feições erosivas quantificadas, pode-se notar pelo mapeamento geomorfológico a ocorrência de outras formas denudativas, como as marcas de erosão laminar e os terracetes, concentrados nas áreas do relevo cuestiforme e dos morros testemunhos.

Sobre as características hidrográficas, na bacia 71% da extensão dos cursos fluviais apresenta fundo de vale plano. Destaca-se também a ocorrência de grandes áreas de acumulação de planície e de terraço fluvial (APTF) e do leque aluvial na confluência do canal principal com o curso do Rio Capivara. Estas características dos rios evidenciam intensa dinâmica deposicional ao longo dos canais, a qual pode estar relacionada aos processos de erosão nas vertentes.

A respeito das intervenções antrópicas registradas a partir do mapeamento geomorfológico, destaca-se o aparecimento de alguns lagos ao longo dos cursos fluviais, incluindo também a ocorrência de bacias de contenção, demonstrando a preocupação dos produtores locais com os processos erosivos.

Contudo, além das características morfométricas, algumas propriedades geomorfológicas merecem atenção ao se analisar a ocorrência, espacialização e magnitude dos processos erosivos. A presença do relevo

cuestiforme, denotado pela grande altitude em relação ao restante da bacia, destacado pelo seu *front* na carta geomorfológica (Figura 5), implica em características naturais que favorecem o rompimento do equilíbrio deste sistema, desencadeando dificuldades para o uso da terra e podendo gerar processos erosivos com magnitude expressiva.

O relevo cuestiforme ainda se destaca pelo contato litológico entre as três formações geológicas encontradas na área de estudo (Figura 2) e pela presença de inúmeras formas de vertentes côncavas, que concentram os fluxos de água em superfície (Figura 5). Ainda, nota-se que o curso fluvial que percorre a área do relevo cuestiforme possui fundo de vale encaixado, fator que pode indicar a energia fornecida ao fluxo pelas características geomorfológicas e morfométricas do *front* cuestiforme.

Constata-se também a presença de inúmeras rupturas topográficas ao longo da bacia, em especial na área de ocorrência dos arenitos Pirambóia e em menor magnitude sobre a Formação Botucatu (Figura 5). A presença desta característica geomorfológica nas formações areníticas evidencia as diferentes resistências que marcam esses materiais, podendo favorecer o aparecimento de processos erosivos.

A partir do mapeamento das feições erosivas (Figura 5), foi possível avaliar as características morfométricas sobre as quais estas ocorrem com maior frequência, sejam sulcos e ravinas ou na forma de taludes de voçorocas.

Para a dissecação vertical (Figura 4B, Tabela 1), as áreas ocupadas pelas classes na bacia possuem um maior equilíbrio, sem o domínio expressivo de alguma classe.

A partir da distribuição dos sulcos erosivos, constatou-se que (Tabela 1) a classe ≤ 10 m, a mais fraca de dissecação vertical, assume o índice mais elevado. Em seguida, a classe 10 – 20m apresenta o segundo maior índice, com a classe ≥ 50 m, assumindo a terceira posição.

Tabela 1. Relação entre sulcos erosivos e classes de dissecação vertical

Classes de dissecação vertical	Área ocupada pela classe na bacia	Número de sulcos erosivos	Índice
≤ 10 m	11%	33	1
10 – 20m	13,2%	37	0,93
20 – 30m	17%	30	0,59
30 – 40m	23,2%	23	0,32
40 – 50m	20%	24	0,40
≥ 50 m	15,5%	38	0,81

Com isso, constata-se que os sulcos se encontram majoritariamente nas classes que ocupam de forma relativa às menores áreas da bacia e com as menores taxas de dissecação vertical (classe ≤ 10 m e com a classe 10 – 20m) sendo estas posicionadas próximas aos cursos fluviais. Ainda, a classe ≥ 50 m, que representa a maior intensidade de dissecação vertical, assume apenas a 3ª posição no índice de relevância.

Com as ravinas, a tendência de concentração também ocorre nas classes de menor dissecação vertical (Tabela 2).

Tabela 2. Relação entre ravinas e classes de dissecação vertical

Classes de dissecação vertical	Área ocupada pela classe na bacia	Número de ravinas	Índice
≤ 10 m	11%	11	1
10 – 20m	13,2%	10	0,75
20 – 30m	17%	5	0,29
30 – 40m	23,2%	4	0,17
40 – 50m	20%	4	0,2
≥ 50 m	15,5%	3	0,19

Desta forma, ocorre similaridade entre a concentração por classe de ravinas e de sulcos erosivos. No entanto, para a ocorrência de ravinas, a classe ≥ 50 m não apresenta relevância.

No que tange a relação entre as classes de dissecação vertical e a ocorrência de taludes de voçorocas, a concentração é muito expressiva para a classe ≤ 10 m (Tabela 3). Neste caso, a classe de menor dissecação vertical concentra 4567m dos 5028m de extensão dos taludes de voçorocas encontrados na bacia. Já as demais classes possuem pouca expressividade na ocorrência de taludes de voçorocas, assumindo valores muito baixos.

Tabela 3. Relação entre taludes de voçorocas e classes de dissecação vertical

Classes de dissecação vertical	Área ocupada pela classe na bacia	Extensão dos taludes de voçoroca	Índice
≤ 10 m	11%	4567m	1
10 – 20m	13,2%	301m	0,05
20 – 30m	17%	45m	0,006
30 – 40m	23,2%	98m	0,009
40 – 50m	20%	17m	0,001
≥ 50 m	15,5%	0m	0

Desta forma, para a dissecação vertical, que representa a altura entre o fundo de vale e a linha de cumeeada, considerando os valores mais elevados como as classes mais intensas, evidencia-se que as áreas com baixas taxas de dissecação vertical podem ser um bom indicativo de ocorrências de feições erosivas.

Ainda, observa-se que os sulcos erosivos também ocorrem de forma numerosa para o restante das classes de dissecação vertical. Este fenômeno pode estar associado ao uso da terra, o qual, em grande parte da área de estudo, é voltado para a pecuária, condição de uso propícia para ocorrência de feições lineares, fazendo com que estas não obedeçam a um padrão associado ao meio físico.

Tratando-se da dissecação horizontal (Figura 4C), boa parte da bacia é ocupada pelas classes mais baixas (Tabela 4).

Os sulcos erosivos se encontram mais concentrados nas classes moderadas e de baixa dissecação horizontal (Figura 4C, Tabela 4). Como as classes mais fortes ocorrem em confluências entre cursos fluviais, ocupando áreas bastante restritas da bacia, não se constatou a presença de sulcos nesses setores.

Tabela 4. Relação entre sulcos erosivos e classes de dissecação horizontal

Classes de dissecação horizontal	Área ocupada pela classe na bacia	Número de sulcos erosivos	Índice
≤ 10 m	0,02%	0	0
11 -20m	0,13%	0	0
21 -40m	0,80%	0	0
41 -80m	1,95%	3	0,35
81 -160m	7,8%	34	1
161 -320m	17,5%	48	0,63
≥ 321 m	71,6%	100	0,32

Ao que compete a ocorrência de ravinas, a classe de dissecação horizontal 21 -40 m possui índice maior, mesmo que apresente apenas uma ravina em sua área de ocorrência. Por ocupar somente 0,80% da área total da bacia, a ocorrência de uma ravina nesta classe possui peso muito significativo (Tabela 5).

Tabela 5. Relação entre ravinas e classes de dissecação horizontal

Classes de dissecação horizontal	Área ocupada pela classe na bacia	Número de ravinas	Índice
≤ 10 m	0,02%	0	0
11 -20m	0,13%	0	0
21 -40m	0,80%	1	1
41 -80m	1,95%	0	0
81 -160m	7,8%	6	0,61
161 -320m	17,5%	11	0,50
≥ 321 m	71,6%	19	0,21

Nas demais classes têm-se o mesmo comportamento constatado para os sulcos erosivos, isto é, concentração de feições nas classes intermediárias e ausência de ravinas nas classes mais altas de dissecação horizontal

Já para a ocorrência de taludes de voçoroca (Tabela 6), a classe 21 -40m se destaca. Em seguida, as classes 11 -20m e 41 -80m possuem valores elevados de ocorrência de taludes de voçoroca.

Tabela 6. Relação entre taludes de voçoroca e classes de dissecação horizontal

Classes de dissecação horizontal	Área ocupada pela classe na bacia	Extensão dos taludes de voçoroca	Índice
≤ 10 m	0,02%	41m	0,21
11 -20m	0,13%	113m	0,91
21 -40m	0,80%	744m	1
41 -80m	1,95%	1416m	0,78

81 -160m	7,8%	1139m	0,15
161 -320m	17,5%	1012m	0,06
≥ 321 m	71,6%	529m	0,007

Desta forma, para a dissecação horizontal, constata-se que as feições do tipo sulco erosivo e ravinas se concentram de forma geral nas classes de moderada e baixa dissecação horizontal (81 – 160m, 161 -320m e ≥ 321 m), com a exceção já mencionada para os ravinamentos. Com isso, a concentração do número de sulcos erosivos e de ravinas nas classes de baixa dissecação horizontal pode ser explicada pelo acúmulo de fluxos d'água, possíveis de ocorrerem com volumes significativos, ao longo de vertentes extensas, as quais caracterizam as classes mais baixas desse parâmetro morfométrico.

Já para a ocorrência de taludes de voçoroca, as classes de maior dissecação horizontal apresentam os maiores valores, sendo que a confluência de cursos hídricos possui quase que a totalidade da ocorrência desta feição. Tal fenômeno pode ser analisado a partir do entendimento de que, em alguns casos, as voçorocas atingem o nível freático, passando a abrigar em seu interior afluentes dos principais cursos hídricos da bacia hidrográfica.

A respeito da declividade (Figura 4A, Tabela 7), observa-se que os sulcos erosivos se concentram nos setores de média vertente e com declividade moderada, nas classes intermediárias. Já para as classes mais declivosas, constata-se a baixa ocorrência, marcada pelos índices de 0,28 e 0,23 para as classes 31 – 45% e ≥ 45%, respectivamente.

Tabela 7. Relação entre sulcos erosivos e classes de declividade

Classes de declividade	Área ocupada pela classe na bacia	Número de sulcos	Índice
≤2%	0,5%	0	0
3-5%	6,7%	2	0,1
6-12%	42%	81	0,8
13-30%	38,9%	94	1
31-45%	5,4%	4	0,28
≥45%	6,4%	4	0,23

Para as ravinas, a classe 13 - 30% mantém o protagonismo, possuindo 22 ravinas do total de 37 da bacia. No entanto, a classe 31 – 45% de declividade assume o segundo maior índice, pois, apesar de ocupar uma pequena área, essa é tomada por ravinas (Tabela 8).

Tabela 8. Relação entre ravinas e classes de declividade

Classes de declividade	Área ocupada pela classe na bacia	Número de ravinas	Índice
≤2%	0,5%	0	0
3-5%	6,7%	0	0
6-12%	42%	12	0,50
13-30%	38,9%	22	1
31-45%	5,4%	2	0,65
≥45%	6,4%	1	0,27

Destaca-se ainda a classe 6-12%, demonstrando que, mesmo possuindo muitas feições do tipo ravina, a classe abrange uma vasta área na bacia, o que lhe atribui uma influência intermediária. Como ocorre para os sulcos erosivos, a tendência de baixa ocorrência de ravinas na classe mais alta de declive se mantém.

No caso dos taludes de voçorocas, a classe 13 – 30% também representa o maior índice, concentrando 2653m de extensão do total de taludes de voçorocas da bacia (Tabela 9). Destaca-se também a classe 6-12% com o segundo maior índice e a classe de 31 – 45% com o terceiro maior índice

Tabela 9. Relação entre taludes de voçorocas e classes de declividade

Classes de declividade	Área ocupada pela classe na bacia	Extensão dos taludes de voçorocas	Índice
≤2%	0,5%	0m	0
3-5%	6,7%	0m	0
6-12%	42%	2132m	0,74
13-30%	38,9%	2653m	1
31-45%	5,4%	225m	0,6
≥45%	6,4%	18m	0,02

Com isso, de forma geral, para todas as três feições erosivas quantificadas (sulcos, ravinas e taludes de voçoroca), constatou-se uma maior ocorrência nas classes intermediárias de declividade, principalmente de 13 – 30%. Como esperado, as áreas com as menores declividades apresentam índice de valor zero ou muito baixo.

Destaca-se ainda que as classes mais elevadas (31 – 45% e de ≥45%) de declividade, não assumem protagonismo em nenhuma feição erosiva quantificada, com exceção da classe 31 – 45%, que apresenta o segundo maior índice na taxa de ocorrência de ravinas. O fato das classes de declividade mais elevadas não corresponderem aos maiores índices de erosão, pode ser explicado pelo baixo desenvolvimento pedológico, o qual impede

o registro de solos profundos o suficiente para gerar feições lineares. Para os taludes de voçoroca, estes ocorrem em sua maioria próximos aos fundos de vales, cuja baixa declividade, na escala trabalhada, não permitiu sua individualização para as classes mais altas.

A partir da carta de energia do relevo (Figura 4D), nota-se a dominância espacial da classe medianamente forte, seguida da classe média e forte. Os sulcos erosivos se concentram nas classes medianamente forte, média e forte (Figura 4D, Tabela 10).

Tabela 10. Relação entre sulcos erosivos e classes de energia do relevo

Classes de energia do relevo	Área ocupada pela classe na bacia	Número de sulcos erosivos	Índice
Muito fraca	0,10%	0	0
Fraca	4,4%	2	0,15
Média	29%	55	0,71
Medianamente forte	39,8%	105	1
Forte	20,2%	20	0,37
Muito forte	6,4%	3	0,17

Para as ravinas (Tabela 11), a tendência encontrada para os sulcos erosivos se mantém. Desta forma, a classe medianamente forte apresenta o maior índice, sendo novamente a mais expressiva para a ocorrência de feições erosivas.

Tabela 11. Relação entre ravinas e classes de energia do relevo

Classes de energia do relevo	Área ocupada pela classe na bacia	Número de ravinas	Índice
Muito fraca	0,10%	0	0
Fraca	4,4%	0	0
Média	29%	12	0,78
Medianamente forte	39,8%	21	1
Forte	20,2%	0,37	0,37
Muito forte	6,4%	0	0

Ainda, assim como para os sulcos erosivos, a classe muito fraca não apresenta nenhuma ravina. As classes que indicam uma energia do relevo fraca ou muito forte apresentam um baixo nível de ocorrência de feições erosivas, tanto para as ravinas como para os sulcos.

No que se refere a ocorrência de taludes de voçoroca, o maior índice permanece com a classe medianamente forte (Tabela 12).

Tabela12. Relação entre extensão dos taludes de voçoroca e classes de energia do relevo

Classes de energia do relevo	Área ocupada pela classe na bacia	Extensão dos taludes de voçoroca	Índice
Muito fraca	0,10%	5m	0,59
Fraca	4,4%	23m	0,06
Média	29%	1561m	0,70
Medianamente forte	39,8%	3036m	1
Forte	20,2%	296m	0,18
Muito forte	6,4%	107m	0,21

Em seguida, destaca-se a classe média. No entanto, a classe muito fraca assume como a terceira classe com o maior índice, mesmo que apresente apenas 5m de extensão de talude de voçoroca em sua área de abrangência. Por ocupar apenas 0,10% da área total da bacia, a ocorrência deste pequeno valor de extensão do talude de voçoroca potencializa a importância desta classe para a ocorrência deste tipo de feição erosiva.

Assim, para a carta de energia do relevo, observa-se a concentração de feições erosivas do tipo sulco, ravina e talude de voçoroca nas classes intermediárias de energia do relevo, com destaque para a classe medianamente forte.

Em suma, entende-se que as cartas de declividade e de energia do relevo apresentam a mesma tendência de concentração das feições erosivas em classes intermediárias, refletindo em um agrupamento destas feições em setores de média e de baixa vertente (Figura 5, Figura 4 A, Figura 4 D e Tabela 13). Assim, nota-se a influência do relevo de *cuestas* na ocorrência dos processos erosivos, uma vez que, a concentração de energia do relevo mais forte em áreas mais elevadas e principalmente no *front* cuestiforme, não justifica a concentração de feições erosivas nestes pontos, pois, estas áreas possuem solos rasos devido à declividade, mas confere a dissipação da energia ao longo das vertentes. Com isso, identifica-se uma relação de vizinhança, na qual, as áreas mais inclinadas e com energia relevante, desencadeiam efetiva ação erosiva em setores limítrofes, normalmente associados às médias e baixas vertentes.

Tabela 13. Em ordem, astrês classes de cada carta morfométrica que apresentaram maior frequência de feições erosivas.

Cartas morfométricas	Classes de Declividade	Classes de Dissecação Vertical	Classes de Dissecação Horizontal	Classes de Energia do Relevo
Feições erosivas				
Sulco	13 -30%	≤ 10 m	81-160m	Média
	6- 12%	10-20m	161-320m	Medianamente Forte
	31-45%	≥ 50 m	41-80m	Forte
Ravina	13-30%	≤ 10 m	21-40m	Média
	31-45%	10-20m	81-160m	Medianamente Forte
	6-12%	20-30m	161-320m	Forte
Voçoroca	13-30%	≤ 10 m	21-40m	Medianamente Forte
	6-12%	10-20m	11-20m	Média
	31-45%	30-40m	≤ 10 m	Muito Fraca

Conclusão

1. A análise conjunta dos dados das cartas morfométricas e da ocorrência de feições erosivas demonstraram tendências de eventos erosivos de acordo com as características naturais do terreno.

2. Constata-se que os setores com maior declividade e energia do relevo, associados principalmente ao relevo de *cuestas*, não são submetidos diretamente aos processos lineares. Contudo, podem colaborar para a ocorrência de

feições erosivas em áreas vizinhas, com menor inclinação e energia, evidenciando a importância de uma análise espacial e sistêmica do fenômeno erosivo, a qual propicia a verificação da interação deste com o meio.

3. A análise dos dados gerados a partir das cartas de dissecação vertical e horizontal, permitiu constatar que os sulcos erosivos e as ravinas se concentram em setores com menor desnível altimétrico relativo (isto é, baixa dissecação vertical) e em vertentes mais extensas (baixa dissecação horizontal). Assim, as vertentes

extensas apresentaram em seu setor inferior uma frequência significativa de feições lineares, constituindo o setor do relevo que necessita de maior atenção no que se refere às práticas conservacionistas.

4. Ressalta-se a importância, em estudos futuros, de considerar o uso da terra como variável de análise, uma vez que se reconhece sua capacidade de potencializar a fragilidade natural do ambiente à erosão.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento do projeto 2020/01122-6, que tornou possível a realização desta pesquisa.

Referências

- Almeida, F. M., 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Editora USP, São Paulo, 110p.
- Araújo Junior, A. A., Campos, S., Barros, Z., Cardoso, L. G., 2002. Diagnóstico físico conservacionista de 10 microbacias no Rio Capivara – Botucatu (SP), visando o uso racional do solo. Irriga 7, 106-122.
- Bak, P., 1997. How Nature Works: The Science of Self-organized Criticality. Copernicus Books, Gottingen, DE, 240p.
- Bonzanini, H. L., Lupinacci, C. M., Sanches, R. M., 2022. Análise Morfométrica e Feições Erosivas na Bacia Hidrográfica do Rio Taturi (PR). Geografia (Londrina) 31. Disponível: <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2022v31n1p237>. Acesso: 12/06/2022.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L., Ballabio, C., 2020. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). National Academy of Science [online] 117. Disponível: <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>. Acesso: 12/06/2022.
- Cabecauer, T., Hofierka, J., 2008. The consequences of land-cover changes on soil erosion distribution in Slovakia. Geomorphology [online] 98. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.12.035>. Acesso: 08/08/2021.
- Caetano-Chang, M. R., Wu, F. T., 2003. Diagênese de arenitos da formação piramboia no centro-leste paulista. Geociências 22, 33-39.
- Campos, S., Araújo Junior, A. A., Zacarias, X. B., Cardoso, L. G., Piroli, E. L., 2004. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao uso da terra em microbacias hidrográficas, Botucatu – SP. Engenharia Agrícola 24, 431-435.
- Casseti, V., 2001. Elementos de Geomorfologia. Editora UFG, Goiânia, 137p.
- Chuma, G. B., Mondo, J. M., Ndeko, A. B., Magumaarhahama, Y., Bagula, E. M., Blaise, M., Valérie, M., Jacques, K., Karume, K., Mushagalusa, G. N., 2021. Forest cover affects gully expansion at the tropical watershed scale: Case study of Luzinzi in Easter Dr Congo. Trees, Forests and People [online] 4. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100083>.
- Cunha, C. M. L. A cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental. 2001. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.
- Cunha, A. R., Martins, D., 2009. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. Irriga 14, 1-11.
- DATAGEO. Sistema Ambiental Paulista. Cartas topográficas 1:10.000. Disponível: <https://datageo.ambiente.sp.gov.br/app/?ctx=DATAGEO>. Acesso: 02/09/2021.
- De Biasi, M., 1970. Cartas de declividade: confecção e utilização. Geomorfologia 2, 45-60.
- De Biasi, M., 1992. A carta clinográfica: Os métodos de representação e sua confecção. Revista do Departamento de Geografia (USP) 6, 45-60.
- Descroix, L., Bairrios, D. G., Viramontes, D., Poulenard, J., Anaya, E., Esteves, M., Estrada, J., 2008. Gully and sheet erosion on subtropical mountain slopes: Their respective roles and the scale effect. Catena [online] 72. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.07.003>. Acesso: 10/08/2021.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015. Status of the World's Soil Resources: Main Report. Roma, IT.
- Gashaw, T., Worqlul, W. A., Dile, Y. T., Addisu, S., Bantider, A., Zeleke, G., 2020. Evaluating potential impacts of land management practices on soil erosion in the Gilgel Abay watershed, upper Blue Nile basin. Heliyon [online] 6.

- Disponível:
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04777>.
- Gil, E., Kijowska-Strugala, M., Demczuk, P., 2021. Soil erosion dynamics on a cultivated slope in the Western Polish Carpathians based on over 30 years of plot studies. *Catena* [online] 207. Disponível:
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105682>.
- Gomes, W. M., Miguel, A. E. S., Pinto, A. L., 2016. Análise da dissecação horizontal e vertical da bacia hidrográfica do córrego Moeda, Três Lagoas/MS. *Fórum Ambiental da Alta Paulista* 12, 112-123.
- Goudie, A., 1993. Human influence in geomorphology. *Geomorphology* 7, 37-59.
- Guerra, A. J. T., Cunha, S. B. da., 1994. Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 474p.
- Guerra, A. J. T., Silva, A. S. da., Botelho, R. G. M., 1999. Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 340p.
- Guerra, A. J. T., Marçal, M. S., 2006. Geomorfologia Ambiental. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 190p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Malha Municipal. Disponível:
<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso: 10/09/2021.
- ISRIC. International Soil Reference and Information Centre, 1992. ISRIC Bi-Annual Report 1991/1992. Wageningen, NL.
- Kertzman, F. F., Oliveira, A. M. S., Salomão, F. X., Gouveia, M. I. F., 1995. Mapa da erosão do estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico (SP) volume especial*, 31-36.
- Machado, A. C. P.; Cunha, C. M. L. A importância do mapeamento geomorfológico na identificação de áreas suscetíveis a denudação – um estudo do setor sudoeste da alta bacia do rio Itanhaém/SP. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 9., 2012, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: UFRJ, 2012. p. 1-4.
- Mathias, D. T. Contribuição Metodológica para o Diagnóstico da Dinâmica Erosiva Linear e seu Prognóstico Evolutivo visando subsidiar Projetos de Recuperação. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Presidente Prudente, 2016.
- Mauro, C. A. Contribuição ao planejamento ambiental de Cosmópolis – SP-BR. In: ENCUENTRO DE GEOGRAFOS/ DE AMÉRICA, 3, 1991, Toluca. Anais [...]. Toluca: UAEM, 1991. p.391-419.
- Mendes, I. A. A dinâmica erosiva do escoamento pluvial na bacia do Córrego Lafon – Araçatuba – SP. 1993. Tese (Doutorado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- Nir, D., 1983. Man, a Geomorphological agent: an introduction to anthropic geomorphology. Katem Pub, Jerusalém, IL, 165p.
- Paschoal, L. G.; Conceição, F. T.; Cunha, C. M. L. Utilização do ArcGis 9.3 na elaboração de simbologias para mapeamentos geomorfológicos: Uma aplicação na área do Complexo Argileiro de Santa Gertrudes/SP. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 8., 2010, Recife. Anais [...]. Recife: UFPE, 2010. p. 1-14
- Pinton, L. G., Cunha, C. M. L. 2015. O uso de Geoindicadores em Paisagem Rural: Subsídios à análise das Mudanças Morfológicas Antropogênicas da Bacia do Córrego do Cavalheiro – Analândia (SP). *Revista do Departamento de Geografia – USP* 29, 1-19.
- Pinton, L. G. Evolução dos processos morfogênicos em relevo cuestasiforme: a bacia do Córrego do Cavalheiro – Analândia (SP). 2016. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2016.
- Pisani, R. J., Demarchi, J. C., Riedel, P. S., 2016. Simulação de cenário prospectivo de mudanças no uso e cobertura da terra na sub-bacia do Rio Capivara, Botucatu – SP, por meio de modelagem espacial dinâmica. *Revista Cerrados* 14, 03-29.
- Ribeiro, F. L., Campos, S., 2007. Vulnerabilidade à erosão do solo da Região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 11, 628-636. São Paulo (Estado). Instituto Geológico. Folha Geológica de Bauru, escala 1:50.000. Projeto Formações Geológicas de Superfície. 1984.
- Simon, L. H. S. A dinâmica de Uso da Terra e sua interferência na morfohidrografia da bacia do arroio santa Bárbara – Pelotas (RS). 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.
- Soares, P. C. O Mesozóicogondwânico no Estado de São Paulo. 1973. Tese (Doutorado em Geologia) – Faculdade de Filosofia, Ciências e

- Letras, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1973.
- Spiridonov, V., 1981. *Princípios de la Metodologia de las investigaciones de Campo y el Mapeo Geomorfológico*. Universidad Habana, Havana, 650p.
- Stefanuto, E. B., Lupinacci, C. M. *Análise da Dinâmica Erosiva Presente no Setor Cuestiforme de Analândia (SP)*. In: XXI ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PESQUISA – ENANPEGE, 21., 2017, Porto Alegre. Anais [...]. Porto Alegre: UFRGS, 2017.p. 11625- 11636.
- Stefanuto, E. B., Lupinacci, C. M., 2019. Avaliação das características ambientais de ocorrências das feições erosivas lineares nos limites depressão-cuesta – Analândia (SP). *Caminhos de Geografia* [online] 20. Disponível: <https://doi.org/10.14393/RCG207043159>. 367-384. Acesso: 20/08/2021.
- Stefanuto, E. B., Lupinacci, C. M., Carvalho, F., Francos, M., Ubeda, X., 2022. An evaluation of erosion in cuesta relief: São Paulo State, Brazil. *Geomorphology* [online] 398. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.108049>.
- Traficante, D. P., Campos, S., Manzione, R. L., Rodrigues, B. T., 2017. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Capivara, Botucatu – SP. *Revista Energia na Agricultura* 32, 88-95.
- Tricart, J., 1965. *Principes et méthodes de la geomorphologie*. Masson ET C éditeurs, Paris, FR, 496p.
- Wu, S., Chen, L., Wang, N., Zhang, J., Wang, S., Bagarello, V., Ferro, V., 2021. Variable scale effects on hillslope soil erosion during rainfall-runoff processes. *Catena* [online] 207. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105606>.
- Vanacker, V., et al. Land use impacts on soil erosion and rejuvenation in Southern Brazil. *Catena* [online] 178. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.03.024>. Acesso: 02/08/2021.
- Verstappen, H. T., Zuidam, R. A. van., 1975. ITC System of geomorphological survey. International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences, Enschede, NE.
- Zacharias, A. A., Freitas, M. I. C., Sanchez, M. C., 2005. O uso da cartografia digital na elaboração de cartas morfométricas do relevo: Uma proposta Metodológica. *GEOGRAFIA* 30, 37-57.
- Zanatta, F. A. S., Ferreira, M. V., 2015. Roteiro dos procedimentos para elaboração da carta de Energia do Relevo – Software ArcGis 10.2. Laboratório de Geomorfologia – IGCE, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Zanatta, F. A. S. Limitação física em área rural degradada: busca metodológica para definir o uso adequado das terras. 2018. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2018.
- Zanatta, F. A. S., Lupinacci, C. M., Boin, M. N., 2019. O sistema de capacidade de uso da terra como instrumento para análise de área rural degradada. *Caminhos de Geografia* [online] 20. Disponível: <https://doi.org/10.14393/RCG207241496>. Acesso: 22/08/2021.
- Zhang, J., Yang, M., Deng, X., Liu, Z., Zhang, F., 2019. The effects of tillage on sheet erosion on sloping Fields in the wind-water erosion crisscross region of the Chinese Loess Plateau. *Soil & Tillage Research* [online] 187. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.014>. Acesso: 10/08/2021.
- Zhao, J., Wang, Z., Dong, Y., Yang, Z., Govers, G., 2022. How soil erosion and runoff are related to land use, topography and annual precipitation: Insights from a meta-analysis of erosion plots in China. *Science of the Total Environment* [online] 802. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149665>.