

O uso de imagens de altíssima resolução no mapeamento de paisagens afetadas por erosão

El uso de imágenes de alta resolución en la elaboración de mapas de paisajes afectados por la erosión

Estêvão Botura Stefanuto

São Paulo State University (UNESP)

Río Claro. Brasil

estevao1508@hotmail.com

 ORCID: 0000-0001-6580-2563

Cenira Maria Lupinacci

São Paulo State University (UNESP)

Río Claro. Brasil

cenira.lupinacci@unesp.br

 ORCID: 0000-0002-4732-1421

Información del artículo

Recibido: 04/07/2022

Revisado: 19/04/2023

Aceptado: 16/05/2023

ISSN 2340-8472

ISSNe 2340-7743

DOI 10.17561/at.23.7291

 CC-BY

© Universidad de Jaén (España).
Seminario Permanente Agua, Territorio y Medio Ambiente (CSIC)

RESUMO

As feições erosivas lineares podem ser compreendidas como a expressão da relação entre os elementos naturais e antrópicos. Assim, o objetivo do artigo foi analisar uma paisagem marcada por feições erosivas a partir de imagens de altíssima resolução geradas por um VANT DJI MAVIC Pro com sensor RGB CMOS com pixels efetivos de 12.35 M. Os resultados apontam para possibilidade de identificar o grau de dinamicidade dos taludes erosivos de voçorocas, assim como para um aumento no detalhamento dos sistemas erosivos vinculados às ravinas. A semelhança entre os fenômenos identificados em campo e os presentes na imagem também é interessante e constitui-se em um fator que reduz drasticamente o ônus com as etapas de reambulação. Algumas limitações foram identificadas, como a necessidade de verificações em campo para caracterização de rupturas topográficas com afloramento d'água e limitações no processo de fotointerpretação, causadas, por exemplo, por obstrução no campo de visada.

PALAVRAS-CHAVE: VANT, Feições Geomorfológicas, Feições Erosivas Lineares.

RESUMEN

Puede entenderse las formas erosivas lineales como la expresión de la relación entre elementos naturales y antrópicos. Así, el objetivo del artículo fue analizar un paisaje marcado por formas erosivas a partir de imágenes de alta resolución generadas por un DJI MAVIC Pro UAV con sensor RGB CMOS con píxeles efectivos de 12,35 M. Los resultados apuntan a la posibilidad de identificar el grado de dinamicidad de los taludes erosivos de las quebradas, así como a un aumento en el detalle de los sistemas erosivos vinculados a los barrancos. La similitud entre los fenómenos identificados en campo y los presentes en la imagen también es interesante y constituye un factor que reduce drásticamente la carga con los pasos de reambulación. Se identificaron algunas limitaciones, como la necesidad de verificaciones de campo para caracterizar rupturas topográficas con afloramientos de agua y limitaciones en el proceso de fotointerpretación, provocadas, por ejemplo, por obstrucción en el campo de visión.

PALABRAS CLAVE: UAV, Formas Geomorfológicas, Formas Erosivas Lineales.

The use of high resolution images in mapping of landscapes affected by erosion

ABSTRACT

The linear erosive features, can be understood as a result of this relation between natural and man-made elements. Thus, the aim is to analyze a landscape with erosion features from high resolution images recorded by a DJI MAVIC Pro UAV with a RGB CMOS sensor of 12.35M effective pixels. The results, show possibility of identifying degree of dynamism of erosive gullies sidewall as well as for an increase in detailing erosive systems linked to ravines. The similarity between the phenomena identified in field and those present in the image is also interesting and constitutes a factor that drastically reduces the *onus* over the reambulation steps. A few limitations were identified, such as the need for some field verifications to characterize topographic ruptures with water flow and limitations in the photointerpretation process, caused, for example, by obstruction in the field of view.

KEYWORDS: UAV, Geomorphological Features, Linear Erosive Features.

L'utilisation d'images haute résolution dans la cartographie des paysages affectés par l'érosion

RÉSUMÉ

Les éléments érosifs linéaires peuvent être compris comme l'expression de la relation entre les éléments naturels et anthropiques. Ainsi, l'objectif de l'article était d'analyser un paysage marqué par des traits érosifs à partir d'images à très haute résolution générées par un drone DJI MAVIC Pro avec un capteur RGB CMOS avec des pixels effectifs de 12,35 M. Les résultats indiquent la possibilité d'identifier le degré de dynamique des pentes érosives des grande ravins, ainsi qu'une augmentation du détail des systèmes

érosifs liés aux ravins. La similitude entre les phénomènes identifiés sur le terrain et ceux présents dans l'image est également intéressante et constitue un facteur qui réduit drastiquement la charge avec les étapes de déambulation. Certaines limites ont été identifiées, telles que la nécessité de vérifications sur le terrain pour caractériser les ruptures topographiques avec des affleurements d'eau et les limites du processus de photointerprétation, causées, par exemple, par l'obstruction du champ de vision.

MOTS-CLÉ: UAV, Caractéristiques Géomorphologiques, Caractéristiques Érosives Linéaires.

L'uso di immagini ad alta risoluzione nella mappatura di paesaggi coinvolti dall'erosione

SOMMARIO

I tratti erosivi lineari possono essere intesi come l'espressione del rapporto tra elementi naturali e antropici. Pertanto, l'obiettivo dell'articolo era quello di analizzare un paesaggio caratterizzato da caratteristiche erosive da immagini ad altissima risoluzione generate da un UAV DJI MAVIC Pro con un sensore CMOS RGB con pixel effettivi di 12,35 M. I risultati indicano la possibilità di individuare il grado di dinamicità dei versanti erosivi dei calanchi, nonché un aumento del dettaglio dei sistemi erosivi legati agli anfratti. Interessante anche la somiglianza tra i fenomeni individuati sul campo e quelli presenti nell'immagine e costituisce un fattore che riduce drasticamente l'onere con le fasi di riambulazione. Sono state individuate alcune limitazioni, come la necessità di verifiche in campo per caratterizzare rotture topografiche con affioramenti d'acqua e limitazioni nel processo di fotointerpretazione, causate, ad esempio, dall'ostruzione nel campo visivo.

PAROLE CHIAVE: UAV, Caratteristiche Geomorfologiche, Caratteristiche Erosive Lineari.

Introdução

A paisagem pode ser entendida como um conjunto de componentes naturais e antrópicos que interagem em diversas escalas temporais e/ou espaciais, nas quais os elementos físicos (rocha, solo, relevo...), integrados com os sistemas sociais, constituem o binômio inseparável sociedade-natureza¹. Neste contexto, as feições erosivas podem ser compreendidas como uma chave de análise da interação sociedade-natureza e, conseqüentemente, da composição e evolução de parte da paisagem, uma vez que podem ser fruto de interações naturais² e/ou da ação humana/antrópica³.

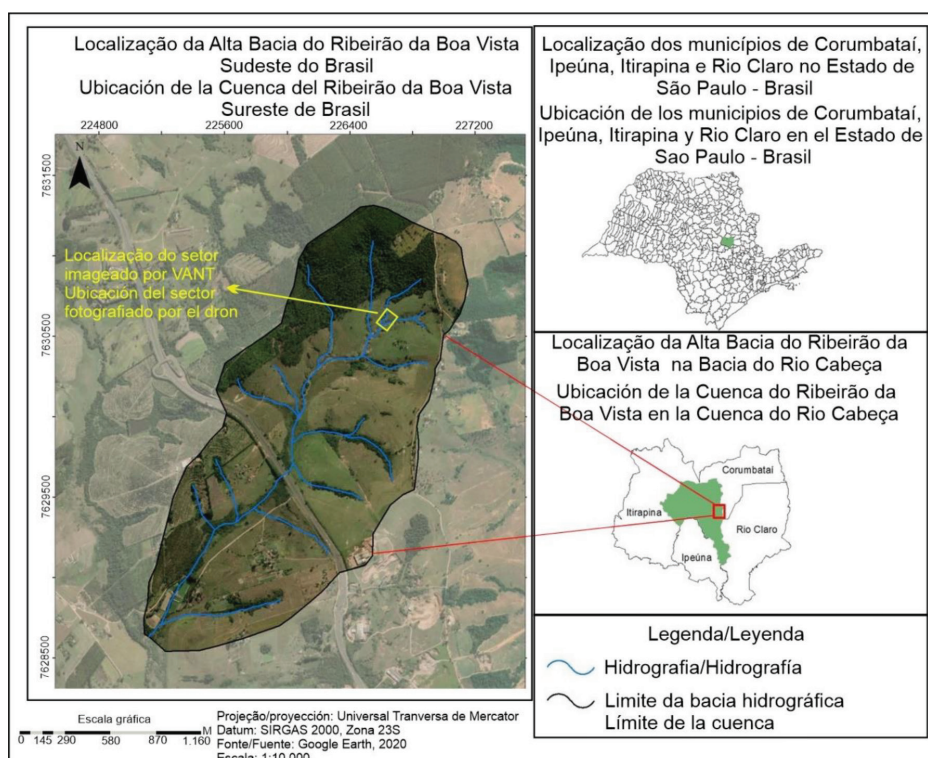
A análise de feições erosivas não é recente - as voçorocas, por exemplo, constituem-se em objetos de estudo desde 1928⁴. No entanto, analisar as paisagens com a presença de feições erosivas à luz de novas técnicas, como as imagens de altíssima resolução propiciadas por veículos aéreos não tripulados (VANTs) e seus respectivos sensores, constitui-se em um tema a ser explorado. Assim, tem-se como objetivo deste artigo analisar uma paisagem marcada por feições erosivas a partir de uma imagem de

altíssima resolução, buscando discutir suas potencialidades e limitações para a identificação de feições geomorfológicas que compõem este tipo de paisagem.

Metodologia

Visando atingir o objetivo proposto, foi selecionada uma fração de um complexo sistema erosivo, o qual está localizado na Depressão Periférica Paulista, na borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná, mais especificamente no setor norte da alta bacia do Ribeirão da Boa Vista, alocada no município de Corumbataí - Unidade Federativa de São Paulo - Brasil⁵ (Figura 1). A área está sobre a Formação Pirambóia⁶, a qual se organiza em faces, sendo estas compostas, de modo geral, por arenitos finos a muito grossos, bem ou mal selecionados e que podem apresentar matriz silto-argilosa ou argilosa, exibindo também clastos de argila⁷. Os solos predominantes são os Argissolos Vermelho Amarelo Distróficos, unidade Serrinha, marcados por mudança textural abrupta, com domínio em superfície de areia fina⁸. Apresenta-se ainda a Figura 2, buscando dimensionar o fenômeno erosivo.

Figura 1. Localização do setor imageado (em amarelo) na Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Boa Vista



Fonte: adaptado de Silva et al. 2022⁹.

¹ Rodriguez et al., 1995.

² Guerra y Guerra, 2010.

³ Nir, 1983.

⁴ Rubey, 1928.

⁵ Silva y Lupinacci, 2021.

⁶ Instituto Geológico, 1984.

⁷ Cortês y Perinotto, 2015.

⁸ Oliveira y Prado, 1984.

⁹ Silva et al., 2022

Figura 2. Dimensões aproximadas de alguns setores do sistema erosivo analisado obtidas via Google Earth Pro



Fonte: os autores.

Para a produção das imagens de altíssima resolução do setor utilizou-se um VANT DJI MAVIC Pro com voo estacionário e posicionamento visual ativo, de +/- 0,1 m (vertical) e +/- 0,3 m (horizontal), tendo embarcado um sensor RGB com 1/2.3" (CMOS), pixels efetivos de 12.35 M (pixels totais 12.71 M), FOV 78.8°/26mm f/2.2. O imageamento ocorreu em 05 de fevereiro de 2022 a partir de uma única captura fotográfica obtida a 65 m de altitude da superfície, a qual possibilitou um produto com resolução espacial de 1,5 cm por pixel. Tal imagem não foi submetida a procedimentos de ortorretificação e georreferenciamento, permitindo assim, somente uma análise de caráter qualitativo. A imagem foi fotointerpretada para identificação dos componentes geomorfológicos no *software* CorelDRAW, sendo os símbolos geomorfológicos¹⁰ desenhados graficamente no mesmo programa sobre as feições identificadas.

Resultados e Discussão

A imagem gerada permitiu a identificação de diversas feições geomorfológicas com precisão quanto às formas e a área de ocorrência, evidenciando o potencial de imagens de altíssima resolução para tal finalidade (Figura 3). Parte dos símbolos geomorfológicos seguem propostas consolidadas¹¹ e novas propostas de simbologia¹², no entanto, considerando as especificidades da área de estudo, alguns símbolos foram desenvolvidos exclusivamente para este artigo, sendo estes: bloco solapado, espelho d'água e murundum. Os blocos solapados constituem-se em massas destacadas do talude erosivo das voçorocas por processos de solapamento da base; os espelhos d'água são áreas mais profundas do canal, nas quais ocorre o acúmulo de água, permitindo a formação de uma lâmina d'água fotointerpretável; e os murunduns são abrigos de colônias de cupins, sendo que alguns se apresentam em atividade e outros estão desativados.

¹⁰ Tricart, 1965. Vertappen y Zuidan, 1975. Zanatta, 2018.

¹¹ Tricart, 1965. Vertappen y Zuidan, 1975.

¹² Zanatta, 2018.

Figura 3. Imagem fotointerpretada com símbolos geomorfológicos sobrepostos às feições geomorfológicas



Fonte: os autores.

Em um primeiro momento, os taludes erosivos das voçorocas merecem destaque (Figura 4). A partir da imagem de altíssima resolução é possível identificar três estágios evolutivos, representados pelas setas em cores distintas. O talude na porção oriental da imagem (setas roxas) apresenta baixa dinâmica erosiva, uma vez que evidencia cobertura quase contínua de gramíneas, com poucos setores com solos expostos, e inexistência de material depositado no sopé do talude. Já o talude erosivo destacado pelas setas laranjas (porção central da imagem), apresenta uma dinâmica erosiva mais ativa em relação ao descrito anteriormente. A afirmação é ratificada pela integração do talude erosivo com sulcos erosivos e ravinas. O setor imageado é destinado à pecuária, assim as áreas de integração das feições erosivas lineares são caracterizadas como pontos de acesso do gado ao curso hídrico para dessedentação. Por fim, classifica-se o talude erosivo destacado pelas setas amarelas como o mais dinâmico do ponto de vista erosivo, sendo que apresenta blocos solapados, os quais evidenciam uma atuação erosiva recente. A partir dos processos de solapamento, que removem o material do sopé do talude erosivo (formação das alcovas de regressão), forma-se um ambiente propício ao fendilhamento¹³, gerando quedas de blocos por cisalhamento (*shearing*

failure), tombamento (*toppling failure*) e/ou stress (*stress failure*)¹⁴, processos os quais darão origem aos blocos solapados.

A imagem com altíssima resolução também proporcionou a identificação de sistemas erosivos, ou seja, setores nos quais as feições erosivas lineares se coadunam (Figura 5). Em produtos de sensoriamento remoto com menor resolução espacial, tal identificação se torna limitada, sendo que, em grande parte destes, mapeia-se uma única feição erosiva linear por parcela da imagem. Tal fato fica evidente, por exemplo, a partir da forma de construção da simbologia das ravinas, as quais são representadas por um símbolo pontual. Como é possível observar nos setores destacados na imagem (Figura 5), em produtos com altíssima resolução identificam-se as ravinas como uma feição erosiva mais complexa, composta por uma dinâmica de canais de concentração dos fluxos superficiais. Assim, cabe a reflexão, se a simbologia das ravinas organizada até então de forma pontual¹⁵ é efetiva para a representação do fenômeno em produtos com elevada resolução espacial. Destaca-se que o autor¹⁶ apresenta um segundo símbolo para representação de ravinas, similar ao empregado para os taludes erosivos e que pode ser representado em linha.

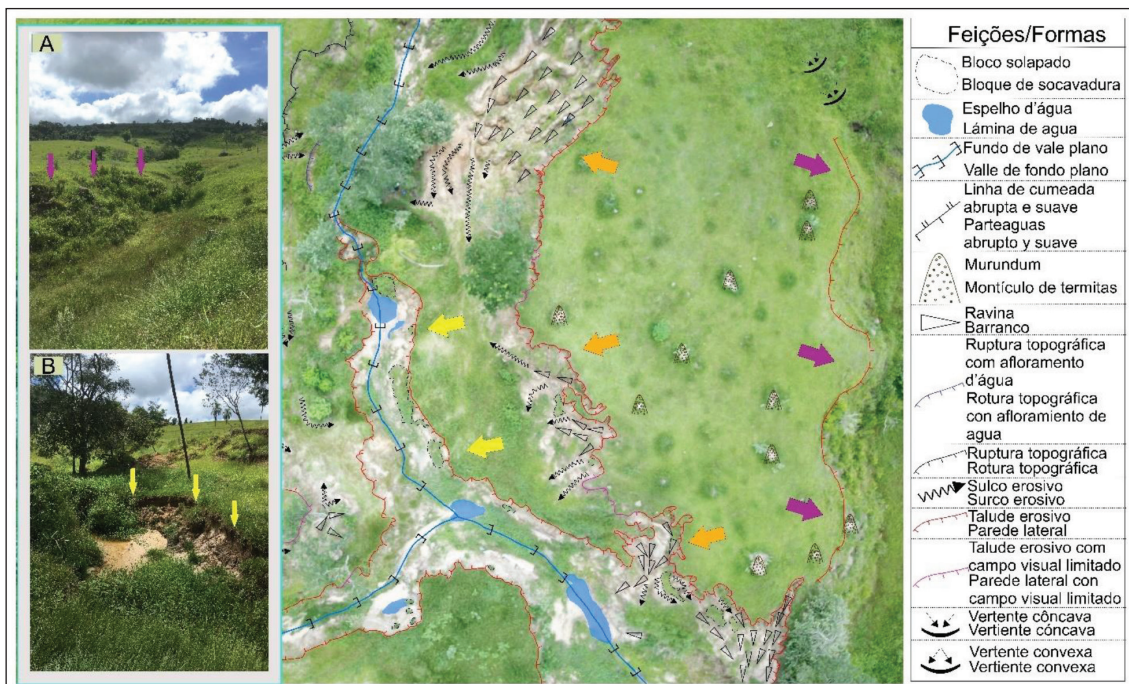
¹⁴ Wang et al., 2016.

¹⁵ Tricart, 1965.

¹⁶ Tricart, 1965.

¹³ Wells et al., 2013.

Figura 4. Comparação das dinâmicas erosivas atuantes nos taludes das voçorocas. As setas representam três dinâmicas distintas. A fotografia A representa o talude erosivo destacado pelas setas roxas e a fotografia B representa o setor destacado pelas setas amarelas



Fonte: os autores.

Figura 5. Destaque aos sistemas erosivos atuantes na área de estudo. A fotografia A representa o setor 1 e a fotografia B o setor 2



Fonte: os autores.

Este símbolo, a princípio, possibilita uma delimitação dos canais que compõem os sistemas de ravinamento, podendo ser uma possibilidade para trabalhos futuros.

A identificação de espelhos d'água com tamanhos variáveis também se constitui em dado interessante (Figura 6), uma vez que permite caracterizar, com maior detalhe, os fundos de vale e seus respectivos formatos. Os espelhos d'água, na área estudada, constituem-se em setores mais profundos do canal, os quais possibilitam o acúmulo de água. A jusante destes setores, os canais apresentam-se, em alguns casos, entulhados de sedimentos (Figura 6B), fato que caracteriza vales com formato plano. Dois setores merecem destaque (representados pelos retângulos azuis), pois os espelhos d'água ocorrem em pontos do talude erosivo com evidências de dinâmica erosiva recente, ou seja, recuo significativo na linha do talude erosivo e blocos solapados. O fato de o canal ser mais profundo em áreas com a presença de espelhos d'água pressupõe maior energia e com isso maior disponibilidade para o destacamento de materiais do talude erosivo e atuação de processos como o solapamento (Figura 6B). Assim, a princípio, pode-se compreender o aprofundamento do canal e o destacamento de material do talude erosivo como processos concomitantes, sendo que estes setores

apresentam também canais mais largos, caracterizados por lâminas d'água mais significativas, como indicado na Figura 6.

Como destacado, as imagens de altíssima resolução oferecem produtos com grande detalhamento, no entanto, algumas feições ainda carecem da escala de campo para confirmação de suas características. Como exemplo, tem-se a ruptura topográfica com afloramento d'água (Figura 7). Na imagem, é possível identificar a ruptura e a consequente exposição do talude, no entanto, diferentemente de outras áreas de estudo¹⁷, a ruptura com afloramento d'água não apresenta mudança de coloração na cobertura vegetal instalada em seu sopé, fato que dificultou a caracterização desta somente pelo processo de fotointerpretação.

Por fim, outras limitações ainda são identificadas e representam um desafio para a evolução técnica destes produtos. No primeiro destaque (Figura 8; setor 1) evidencia-se um setor de fundo de vale com impossibilidade de fotointerpretação devido ao bloqueio no campo de visada por um indivíduo arbóreo. Tal fato ocorre também em alguns setores do talude erosivo (setores 2 e 4), sendo partes destes destacados com a simbologia erosiva na cor magenta. Outra limitação da imagem ocorre na fotointerpretação de setores do talude erosivo

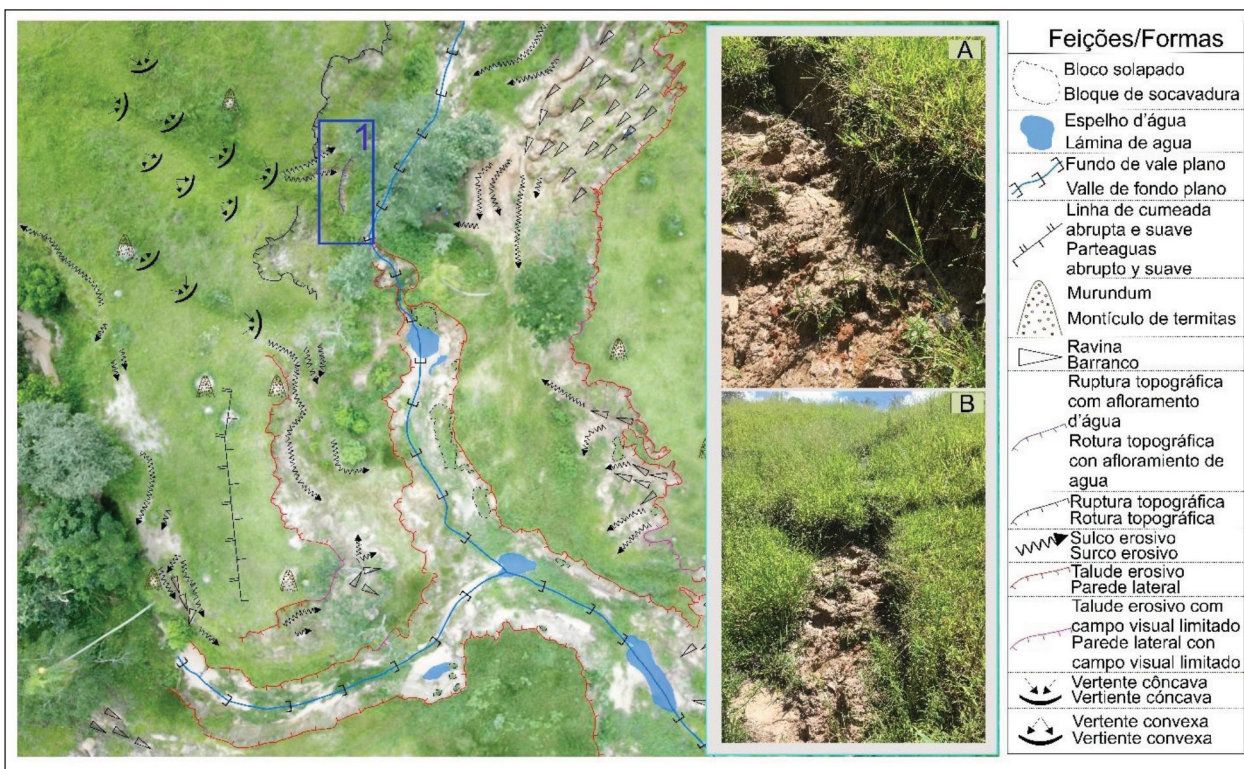
Figura 6. Setores de conformidade entre espelhos d'água e pontos de recuo significativo do talude erosivo. A fotografia A representa o setor 1 e a fotografia B o setor 2



Fonte: os autores.

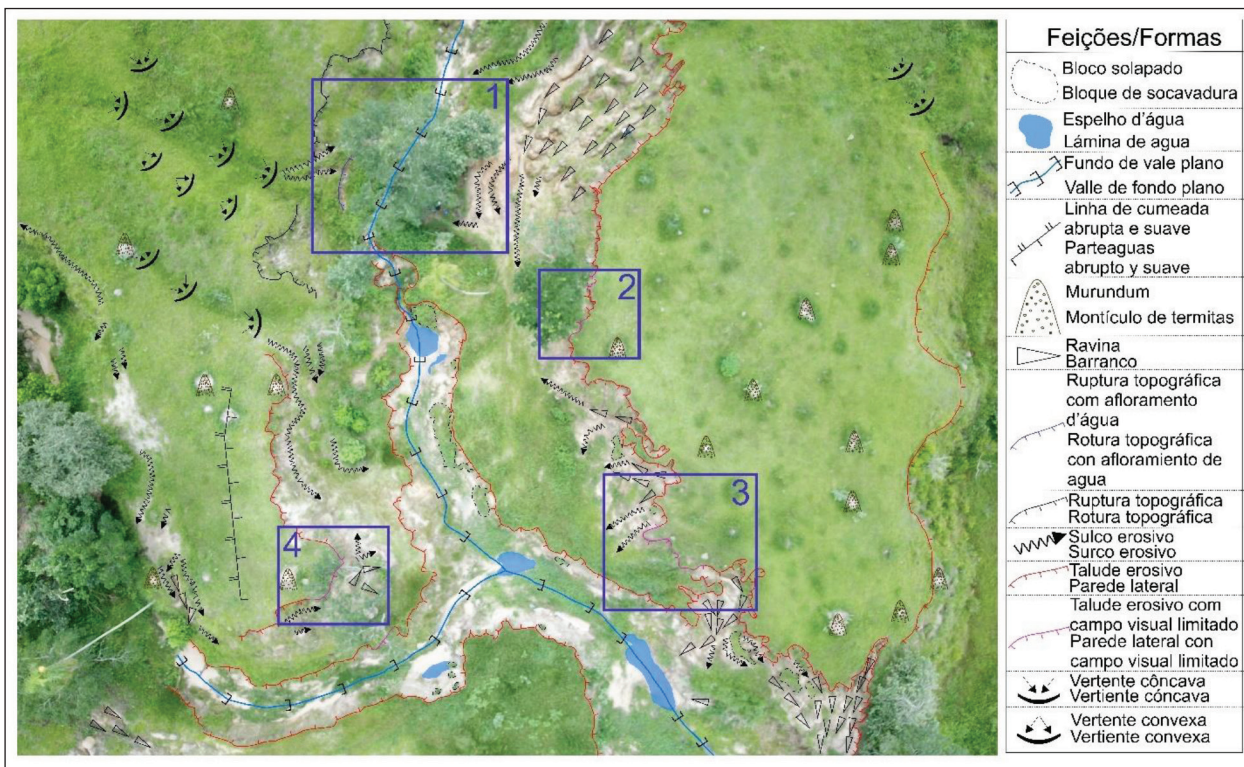
¹⁷ Zanatta, 2018.

Figura 7. Ruptura topográfica com afloramento d'água. As fotografias A e B representam o setor 1



Fonte: os autores.

Figura 8. Setores com limitação no procedimento de fotointerpretação. Destaques 1, 2 e 4, limitações no campo de visada. Destaques 3, limitação no ângulo de imageamento do alvo



Fonte: os autores.

posicionados a 90° em relação ao sensor ou cujo talude apresente angulação aguda (Figura 8; setor 3). Nestes pontos não é possível visualizar o material exposto do talude erosivo, tendo como agravante a similaridade entre a cobertura de gramíneas presente na parte superior e inferior do talude. Com isso, os símbolos traçados em tais setores apresentam imprecisão; em algumas situações, sendo definidos a partir do trajeto possível de ser identificado na vizinhança. Para futuras pesquisas, a questão das angulações pode ser aprimorada a partir de técnicas de ortorretificação, sendo a similaridade visual entre a cobertura, complexa para ser solucionada via fotointerpretação, carecendo assim de produtos auxiliares como os modelos tridimensionais do terreno produzidos por laser scanner terrestre (LST)¹⁸.

Considerações finais

As imagens de altíssima resolução permitem a aproximação entre os fenômenos identificados em campo e os provenientes de produtos do sensoriamento remoto, fato que reduz drasticamente o ônus com as etapas de reambulação. Ainda, algumas feições, como as voçorocas, podem ser caracterizadas quanto ao seu grau de dinamicidade, ou seja, feições lineares desse gênero passam a ser caracterizadas em maior grau de detalhe e de complexidade. O aprimoramento na caracterização das feições também foi possível em setores de ravinas, fato que gerou uma reflexão sobre a efetividade da representação cartográfica do símbolo utilizado. Ainda, algumas limitações perfazem as imagens de altíssima resolução captadas por sensores RGB, gerando a necessidade de verificação em campo. Destacam-se as limitações no campo de visada e no ângulo de imageamento dos alvos, sendo que estas podem ser aprimoradas para pesquisas futuras a partir de sensores mais robustos e técnicas de ortorretificação. Por fim, compreende-se que as imagens de altíssima resolução se constituem em produto primordial para a análise de paisagens afetadas por feições erosivas, pois permitem, além da identificação, o detalhamento de diversas feições geomorfológicas, elemento que agrega um entendimento processual de parte destes fenômenos. Ainda, para estudos futuros, vale analisar a discordância textural dos solos e interação com os fenômenos erosivos, uma vez que a área de estudo apresenta

Argissolos Vermelho Amarelo Distróficos, unidade Serrinha, marcados por mudança textural abrupta e horizonte B textural, fator que pode dinamizar os processos erosivos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências Bibliográficas

- Cortês, A. R. P.; Perinotto, J. A. J.** 2015: "Fácies e associação de fácies da Formação Piramboia na região de Descalvado (SP)". *Geologia USP. Série Científica*, São Paulo, 15 (3-4), 23-40. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v15i3-4p23-40>
- Guerra, A. T.; Guerra, A. J. T.** 2010: *Novo dicionário geológico-geomorfológico*. Rio de Janeiro (Brasil), Bertrand Brasil.
- Instituto Geológico Do Estado De São Paulo – IG.** 1984: *Formações Geológicas de Superfície*. Folha Corumbataí.
- Loureiro, H. A. S.; Guerra, A. J. T.; Andrade, A. G. de.** 2020: "Contribuição ao estudo de voçorocas a partir do uso experimental de laser scanner terrestre e VANT". *Revista Brasileira de Geomorfologia*. 21 (4), 871-892. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i4.1880>
- Nir, D.** 1983: *Man, a geomorphological agent: An introduction to Antropic Geomorphology*. Jerusalem (Israel), Keter Publishing House.
- Oliveira, J. B. de; Prado, H. do.** 1984: *Levantamento pedológico semidetalhado do estado de São Paulo. Folha São Carlos*. Campinas (Brasil), IAC.
- Rubey, W. W.** 1928: "Gullies in the Great Plains formed by sinking of the ground". *American Journal of Science*, 5-15 (89), 417-422. <https://doi.org/10.2475/ajs.s5-15.89.417>
- Rodriguez, J. M. M; Mauro, C. A. de; Russo, I. L; Silva, C. M. dos S; Bovo, R.; Arcuri, M. E. P; Marinho, V. L. F.** 1995: "Análise da paisagem como base para uma estratégia de organização geoambiental: Corumbataí (SP)". *Geografia*, 20 (1), 81-129.
- Silva, M. M; Lupinacci, C. M.** 2021: "Análise de variáveis morfométricas da Alta Bacia do Ribeirão da Boa Vista-Corumbataí (SP): subsídios ao planejamento ambiental de paisagem rural em escala de detalhe". *Geografia*, 46, 1–24. <https://doi.org/10.5016/geografia.v46i1.15451>
- Silva, M. M; Lupinacci, C. M; Stefanuto, E. B.** 2022: "Análise da distribuição espacial das feições erosivas lineares na alta bacia do Ribeirão da Boa Vista -Corumbataí (SP)". *Geosul*, 82, 275-302. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2022.e77196>

¹⁸ Loureiro; Guerra y Andrade, 2020.

- Tricart, J.** 1965: *Principles y Méthodes de la Geomorphologie*. Paris (França), Maisson.
- Verstappen, H. T.; Zuidan, R. A.** 1975: "ITC System of geomorphological survey". *Manual ITC Textbook*, 1 (8).
- Wang, Y; Kuang, S; Su, J.** 2016: "Critical caving erosion width for cantilever failures of river bank". *Int. J. Sediment Res.*, 31, 220–225. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2016.05.003>
- Wells, R. R; Momm, H. G; Rigby, J. R; Bennett, S. J; Binger, R. L; Dabney, S. M.** 2013: "An empirical investigation of gully widening rates in upland concentrated flows". *Catena*, 101, 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.10.004>
- Zanatta, F. A. S.** 2018: *Limitação física em área rural degradada: busca metodológica para definir o uso adequado das terras*, tesis doctoral, São Paulo State University (UNESP), Rio Claro (Brasil).