

MAPEAMENTO DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS E RELAÇÕES COM VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE CONCEIÇÃO DA BARRA DE MINAS E BACIA DO CÓRREGO DO PALMITAL, MINAS GERAIS

Ádria Kanome Mori SOARES ¹; Valéria Guimarães Silvestre RODRIGUES ²

Resumo – As voçorocas são feições erosivas complexas relacionadas à erosão hídrica linear, cujo desenvolvimento envolve diversos condicionantes ambientais além da água como agente erosivo. Os lineamentos estruturais interferem nas características dos materiais geológicos, sejam rochas ou solos, e podem contribuir para o desenvolvimento de processos erosivos. Para investigar as relações entre os lineamentos e as voçorocas na área de estudo, foi realizado mapeamento de feições estruturais com base em relevos sombreados gerados a partir de imagens Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM). Foram mapeados 240 lineamentos de crista e 60 lineamentos de vale, com direção predominantemente NE-SW. Foi possível perceber alinhamentos das voçorocas maiores com lineamentos de crista e a tendência de orientação NE-SW de voçorocas menores de forma linear, o que indica provável importância do controle estrutural na erosão.

Abstract – Gullies are complex erosive features related to linear water erosion, whose development involves various environmental factors along with water as the erosive agent. Structural lineaments influence the characteristics of geological materials, whether rocks or soils, and may contribute to the development of erosive processes. To investigate the relationships between lineaments and gullies in the study area, structural features were mapped based on hill shaded rasters generated from Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) images. 240 ridge lineaments and 60 valley lineaments were mapped, with a predominantly NE-SW orientation. It was possible to observe alignments of larger gullies with ridge lineaments and the NE-SW orientation tendency of smaller gullies in a linear form, indicating the probable importance of structural control in erosion.

Palavras-Chave – Lineamento; SIG; Erosão; Neotectônica.

¹ Geól.^a, PhD, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, adriakms@usp.br

² Prof.^a Assoc.^a, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, valguima@usp.br

1. INTRODUÇÃO

Os municípios de Conceição da Barra de Minas e Nazareno, no Estado de Minas Gerais, são afetados por processos erosivos de grande porte, na forma de voçorocas. Estas feições erosivas são de alta complexidade e têm elevado potencial erosivo, podendo ter efeitos de longo prazo na qualidade e produtividade do solo (Morgan, 2005) ao causar perda de grandes volumes de solo na região (Soares, 2022).

Assim, é de fundamental importância que se investiguem os fatores condicionantes, relacionados às características geológico-geotécnicas, e os agentes deflagradores da erosão, de forma que seja possível compreender a gênese e evolução dos processos erosivos, o que facilita a tomada de decisões em um contexto de recuperação da área degradada. Os lineamentos estruturais consistem em elementos que se relacionam tanto com o relevo quanto com os materiais geológicos, como rochas e solos. Nesse contexto, Real (2019) indicou por meio de observações de campo que muitas voçorocas em Nazareno (MG) ocorrem ao longo de falhas e zonas de cisalhamento.

O objetivo deste trabalho é, portanto, realizar o levantamento de lineamentos estruturais para comparação com voçorocas já mapeadas, de modo a permitir a comparação da ocorrência dos dois tipos de feições e o estabelecimento de relações de controle estrutural como um dos fatores no desenvolvimento de voçorocas na área de estudo.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A área de estudo corresponde ao município de Conceição da Barra de Minas (MG) e a bacia hidrográfica do córrego do Palmital, situada no sudoeste do município, englobando parte do município de Nazareno (MG). Conceição da Barra de Minas também inclui as bacias hidrográficas do rio das Mortes, rio do Peixe, rio das Mortes Pequeno, córrego da Serra, córregos do Sarampo, Ouro, Verde ou dos Barros, córregos do Bananal, Barro Preto, Lajinha e do ribeirão do Amaral ou da Canjica. Assim, a área de estudo possui 300,99 km² de área total, conforme Figura 1.

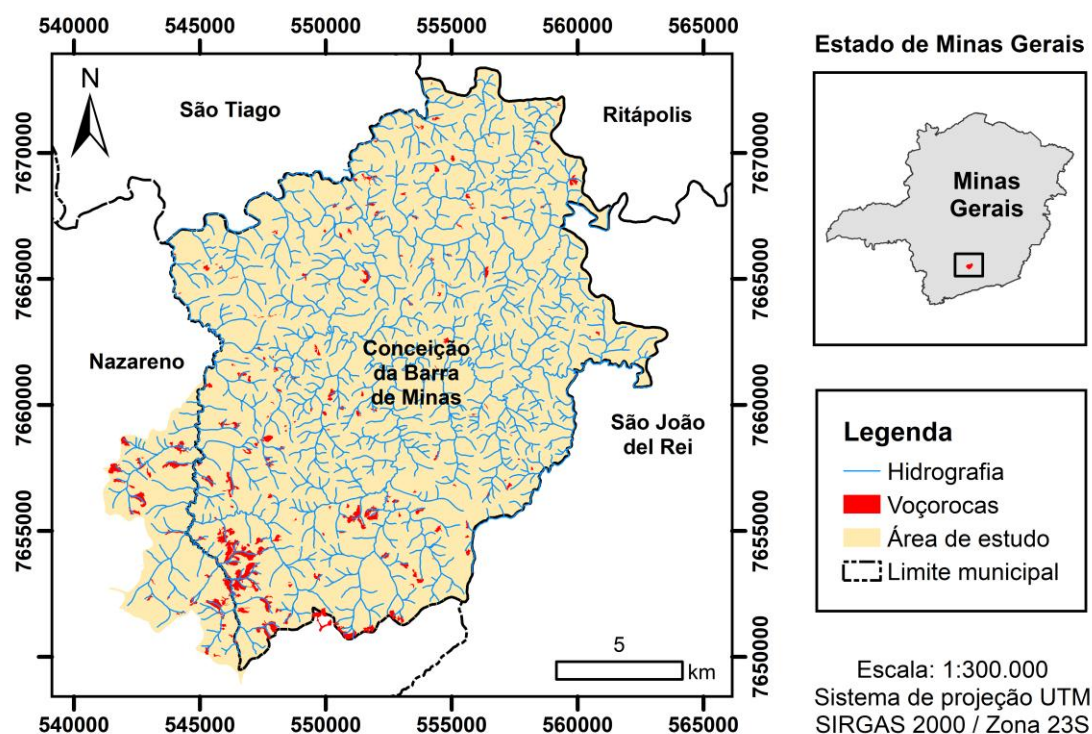


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

A área de estudo se encontra no contexto do Cráton do São Francisco (Bizzi et al., 2003), onde ocorrem as unidades geológicas: Ortognaisse Cassiterita, Formação Nazareno, Formação Rio das Mortes, Suíte Serrinha, Metagranodiorito Represa dos Camargos, Ortognaisse Morro do Resende, Metagranitoide Ritápolis e Metagranodiorito Brumado (Ávila et al., 2019). A região apresenta cinco grupos de lineamentos magnetométricos, definidos a partir de dados aerogeofísicos e geológicos, com as *trends* N10-20°W, N50-60°W a E-W, N0-15°E e N50-70°E (Araújo et al., 2019). No âmbito da geomorfologia, a área se insere no domínio morfoestrutural Escudo Exposto, subdivisão do Planalto Centro Sul de Minas, zona fisiográfica do Planalto de Campos das Vertentes (Brasil, 1983). A região é representada por relevo forte ondulado e montanhoso, com domínio de modelados de dissecação homogênea, compostos de grandes colinas e morros de topos convexo-côncavos, relacionados a linhas de cumeadas e cristas de topos aguçados (Brasil, 1983; Baruqui, 2006). Os solos predominantes na região são os Cambissolos, Latossolos vermelho-amarelos e Latossolos vermelhos. De forma secundária, tem-se Neossolos litólicos, Neossolos flúvicos, Gleissolos e Argissolos vermelhos (Horta et al., 2005; Ferreira, 2005; Horta, 2006; Horta et al., 2009; Universidade Federal de Viçosa et al., 2010; Ferreira et al., 2011; Cassaro, 2018; Real, 2019; Soares, 2022).

O município de Conceição da Barra de Minas é enquadrado no GD2 Vertentes do Rio Grande (com área de 10.540 km²), enquanto Nazareno é pertencente ao GD1 Alto Rio Grande (com área ade 8.758 km²), ambos sob jurisdição do Comitê da Bacia Hidrográfica Nascentes do Rio Grande (IGAM, s.d.), que está incluído na Bacia Hidrográfica do Rio Grande (BHRG) (ARPA Rio Grande, s.d.). Quanto ao clima, tem-se por referência os municípios vizinhos de São João del Rei e Lavras (Soares, 2022), os quais apresentam climas do tipo Cwa, com invernos secos e verões chuvosos, e Cwb, com estiagem nos invernos e verões brandos, respectivamente (Baruqui et al., 2006). Conceição da Barra de Minas tem vegetação composta por floresta tropical subperenifólia, floresta tropical subcaducifólia, floresta tropical perenifólia de várzea, cerrado tropical subcaducifólio, campo cerrado tropical e campo tropical higrófilo (Naime et al., 2006).

Os principais usos do solo na região são a agricultura (milho, soja, café, feijão, arroz, cana-de-açúcar, maracujá e eucalipto), pecuária e mineração (Ferreira, 2005; Real et al., 2020; Soares, 2022; Município de Conceição da Barra de Minas, s.d.; Prefeitura Municipal de Nazareno, s.d.). A região também é caracterizada pelo grande número de voçorocas e áreas afetadas pela erosão. Por exemplo, a bacia do córrego do Palmital, na porção sul da área de estudo, teve 60 voçorocas mapeadas em 2016 (Real, 2019) e 65 em 2019 (Soares, 2022). Foram levantadas 96 voçorocas em 2003 a 2004 no município de Nazareno, ao lado da área de estudo deste trabalho (Ferreira et al., 2011). Assim, tem-se que os processos erosivos consistem em um problema ambiental de grande importância na região, podendo gerar perda de solo e queda na produtividade das atividades rurais.

3. METODOLOGIA

Seguiu-se as metodologias de Oliveira et al. (2009), Soares & Abreu (2017), Oliveira (2017), Féres & Abreu (2019) e Sgorla et al. (2022) para a realização do mapeamento das feições estruturais. Foi utilizada imagem SRTM da folha SF-23-X-C, em escala de 1:250.000, obtida na plataforma Brasil em Relevo, da Embrapa (Miranda, 2005). A partir da imagem SRTM, foram geradas as imagens de relevo sombreado com a ferramenta *Hillshade* do ArcMap 10.4, com azimutes de 140° e 330° e iluminação de 45°. Foi criado *shapefile* do tipo Linha com a ferramenta *Create Features* e os lineamentos foram vetorizados manualmente. Os azimutes de cada lineamento foram calculados a partir da subtração das coordenadas dos vértices de início e fim, nos eixos x e y. As classes de azimutes foram definidas de acordo com as direções preferenciais, permitindo a elaboração de rosetas com o *software* Georose 0.5.2.0. Assim, foi possível interpretar os aspectos da geologia estrutural da área de estudo.

Também foi utilizado o *shapefile* de tipo Polígono das voçorocas presentes na área de estudo, elaborado com base em anaglifos das imagens de satélite do *Google Earth PRO* nos anos de 2023 e 2024.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os lineamentos consistem em feições de drenagem, delimitados nos vales, e feições de relevo, delimitados nas cristas observáveis na imagem de relevo sombreado. A distribuição dos lineamentos é observada na Figura 2, e suas características são apresentadas na Tabela 1.

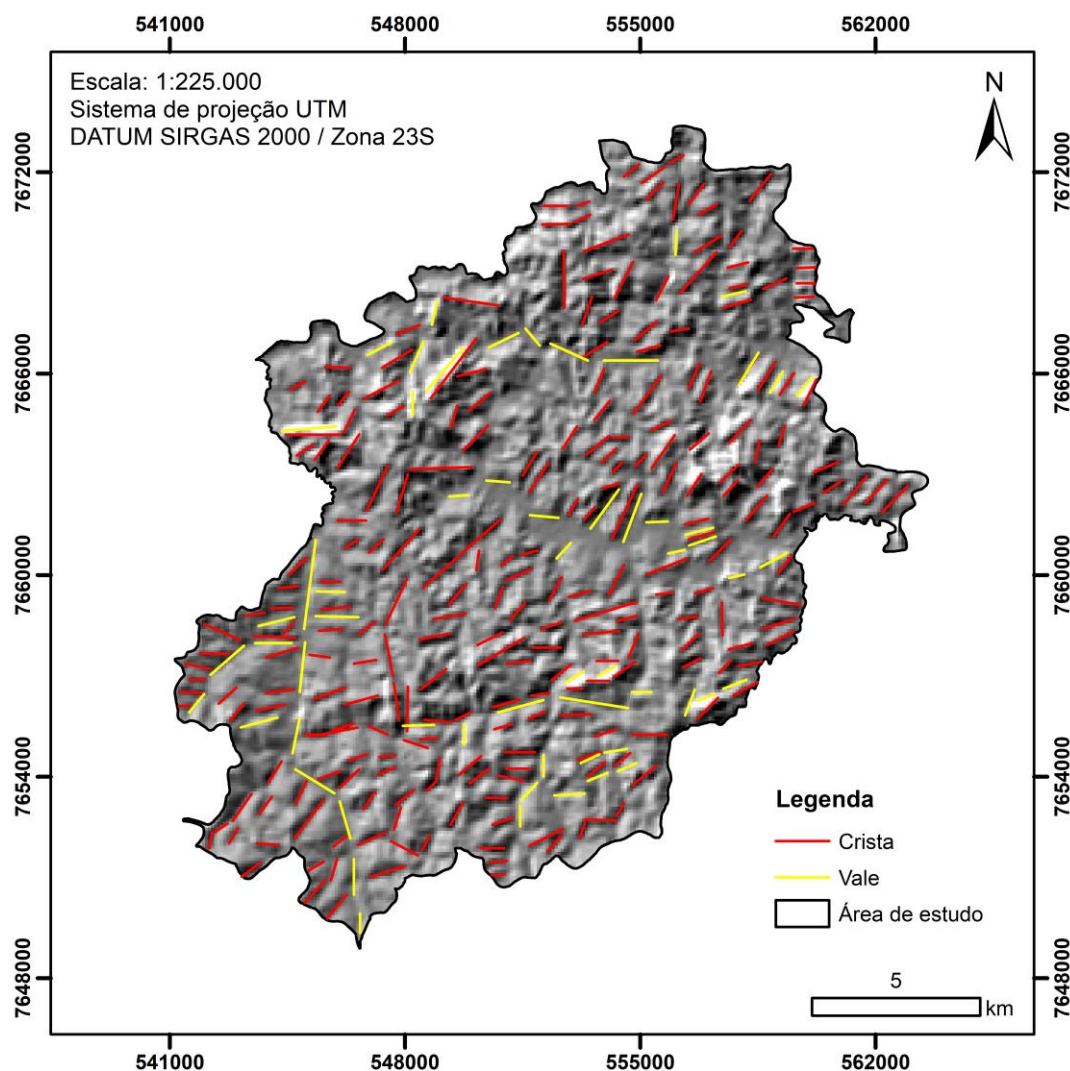


Figura 2. Mapa de lineamentos de cristas e vales da área de estudo.

Tabela 1. Características dos lineamentos mapeados na área de estudo.

Lineamento	Crista (Relevo)	Vale (Drenagem)	Total
Número	240	60	300
Comprimento absoluto (km)	195.649,87	55.927,30	251.577,17
Comprimento máximo (km)	3.073,96	2.668,10	3.073,96
Comprimento mínimo (km)	309,62	462,08	309,62
Comprimento médio (km)	815,21	947,92	841,40

Fonte: Das autoras.

Os lineamentos de crista apresentaram o maior comprimento absoluto, resultante da soma dos comprimentos de todos os segmentos de reta mapeados, o que é coerente com o número de feições mapeadas para esta classe. Ao comparar os comprimentos médios entre cristas e vales, tem-se que os lineamentos de vale são geralmente maiores, com média de 947,92 km. Entretanto,

o maior comprimento, de 3.073,96 km, é associado a um lineamento de crista. O menor comprimento, de 309,62 km, também é relacionado a um lineamento de crista.

Foram mapeados 240 lineamentos de relevo, baseados nas cristas, cujas direções são NE-SW ($n = 204$), NW-SE ($n = 22$) e E-W ($n = 4$). Os azimutes próximos a 75° são predominantes, com 24 ocorrências. Também foram mapeados 60 lineamentos de drenagem (vales), com direções NE-SW ($n = 41$), NW-SE ($n = 9$), N-S ($n = 6$) e E-W ($n = 4$). Observa-se dominância de azimutes entre 0 e 5° , com 7 ocorrências. Os diagramas de rosetas para os lineamentos de relevo e drenagem são apresentados na Figura 3 e Figura 4, respectivamente.

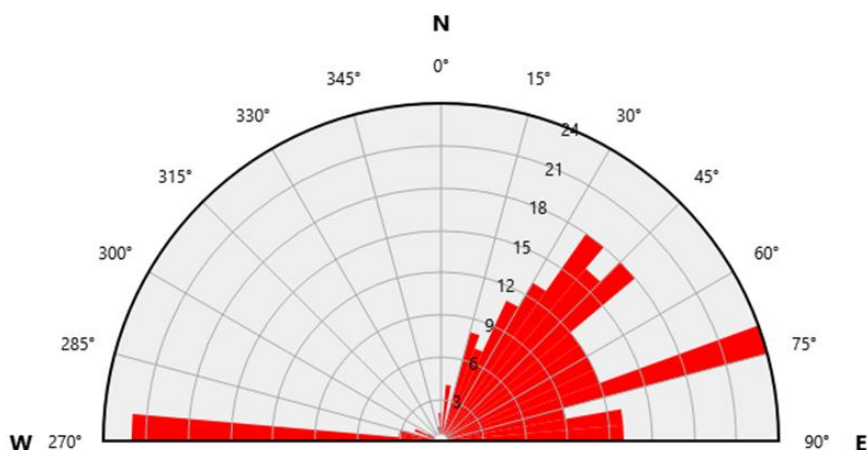


Figura 3. Diagrama de roseta dos lineamentos de relevo (crista).

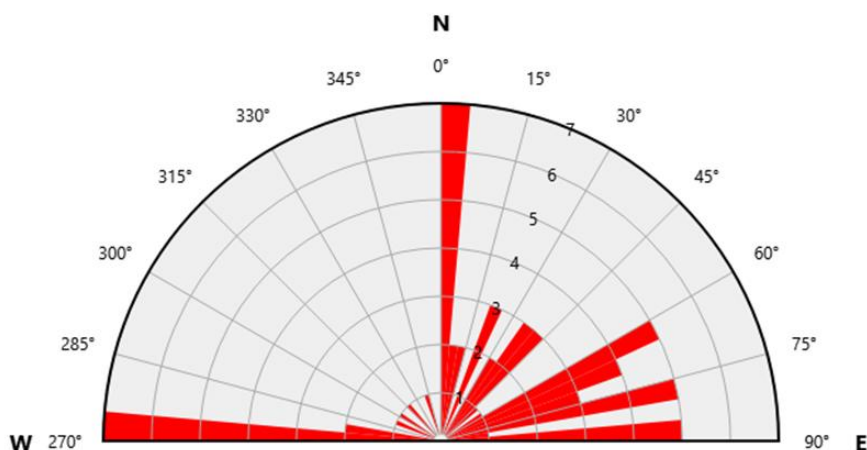


Figura 4. Diagrama de roseta dos lineamentos de drenagem (vale).

A maioria dos lineamentos segue o *trend* NE-SW, tanto para relevo quanto para drenagem, o que é coincidente com falhas transcorrentes dextrais identificadas no mapeamento geológico da CPRM (Ávila et al., 2019). Este *trend* é controlado pela foliação dos xistos máficos, contatos litológicos e fraturamentos (Pires; Porto Júnior, 1986³ apud Pinheiro et al., 2019).

A área de estudo é geologicamente complexa, uma vez que apresenta litologias de diversas naturezas e idades, que foram alteradas por metamorfismo, esforços tectônicos e processos exogenéticos como o intemperismo. Os solos desenvolvidos a partir dessas litologias podem ter herdado feições estruturais, ou ainda serem afetados pela neotectônica. Assim, pode haver relações entre a ocorrência dos lineamentos com o desenvolvimento de processos erosivos,

³ PIRES, F.R.M.; PORTO JÚNIOR, R. A mineralização de Sn-Ta-Nb-Li e o granito Santa Rita, São João Del Rey, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., 1986, Goiânia. **Anais** [...]. Goiânia: SBG, 1986. v. 5, p. 2023-2034.

especificamente das voçorocas. O mapa da Figura 5 sobrepõe os lineamentos mapeados e as voçorocas na área de estudo, onde se pode observar algumas relações espaciais entre os dois tipos de feições.

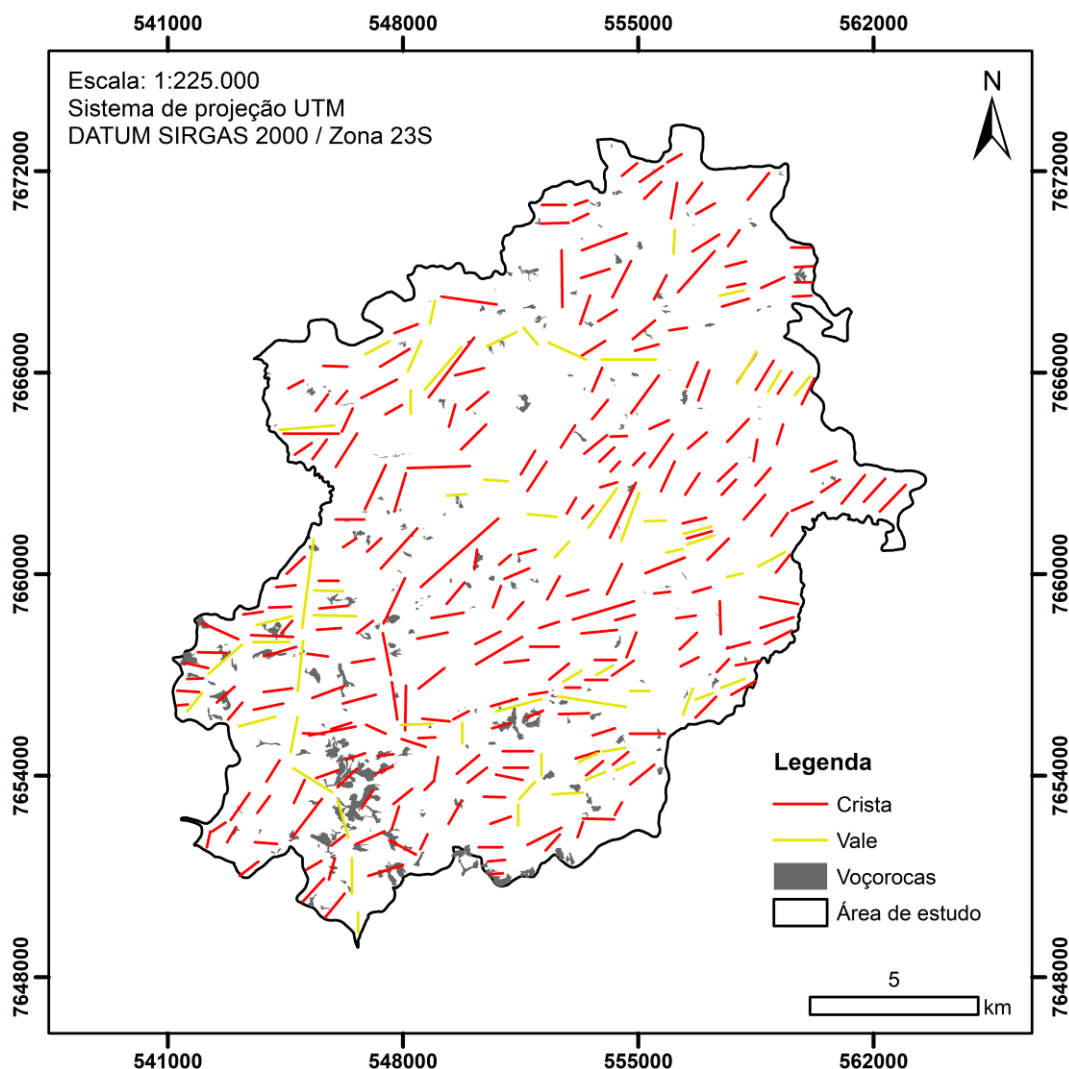


Figura 5. Mapa de lineamentos de crista e vale e voçorocas na área de estudo.

Várias voçorocas não são interceptadas nem por lineamentos de crista, nem por lineamentos de vale, o que pode indicar que não existem relações diretas entre a ocorrência dos lineamentos e o desenvolvimento da erosão. Entretanto, deve-se considerar que os processos erosivos ocorrem a partir de um conjunto de condicionantes ambientais (natureza do material geológico, declividade, comprimento de rampa, forma do talude, presença de vegetação) e a ação de agentes deflagradores (neste caso, a água), que devem ter características favoráveis ao aumento de velocidade e concentração do fluxo de água que escoar sobre o material. Dessa forma, o controle estrutural é apenas um dos fatores para a gênese e desenvolvimento de erosão na área, não sendo o fator principal ou um fator único.

Porém, algumas das voçorocas maiores, na porção sul da área de estudo, se mostram alinhadas com lineamentos de crista, conforme observado na Figura 6 e na Figura 7. Também existem voçorocas lineares, na Figura 8, que são orientadas segundo a direção NE-SW, predominante na área de estudo. Esses exemplos indicam que há possibilidade da influência do controle estrutural no desenvolvimento destas feições erosivas. Entretanto, é necessário que haja maior densidade de lineamentos mapeados, obtidos com base em imagens de maior resolução. Dessa forma, seria possível identificar interações entre voçorocas e lineamentos em áreas onde não se mapeou nenhuma feição estrutural.

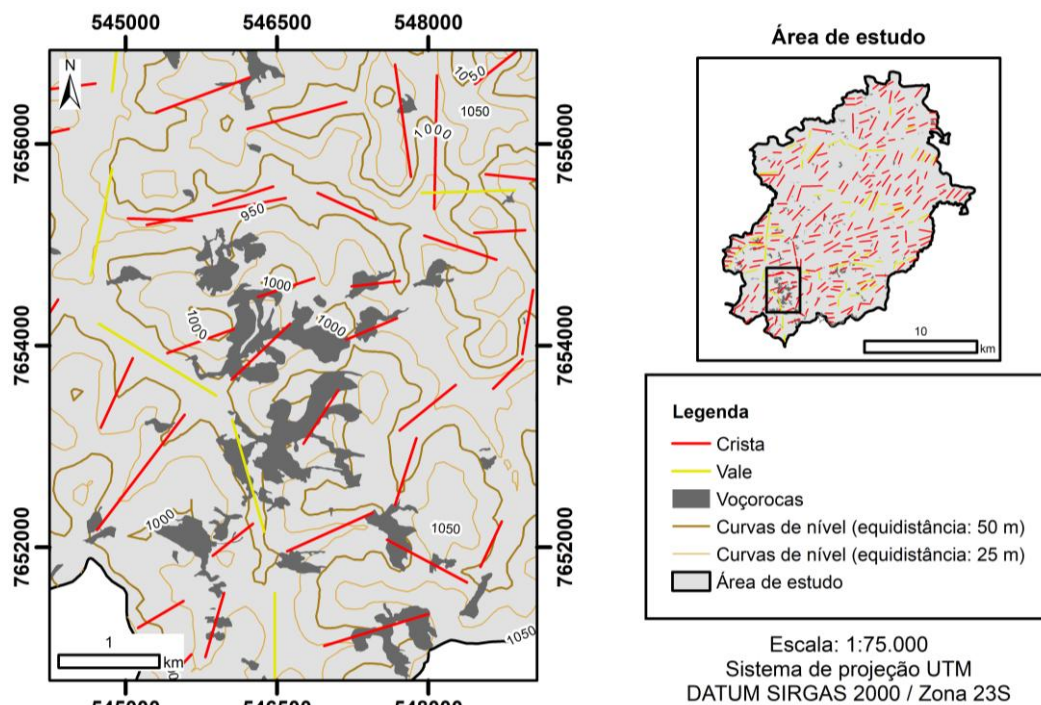


Figura 6. Voçorocas alinhadas com lineamentos de crista, no sul da área de estudo.

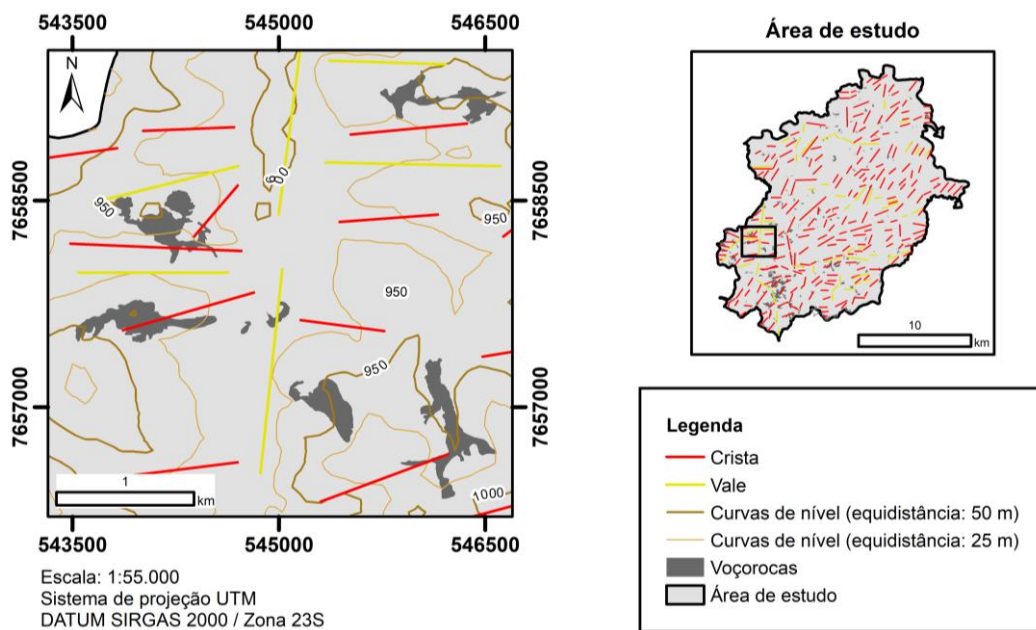


Figura 7. Voçorocas alinhadas com lineamentos de crista, no sudoeste da área de estudo.

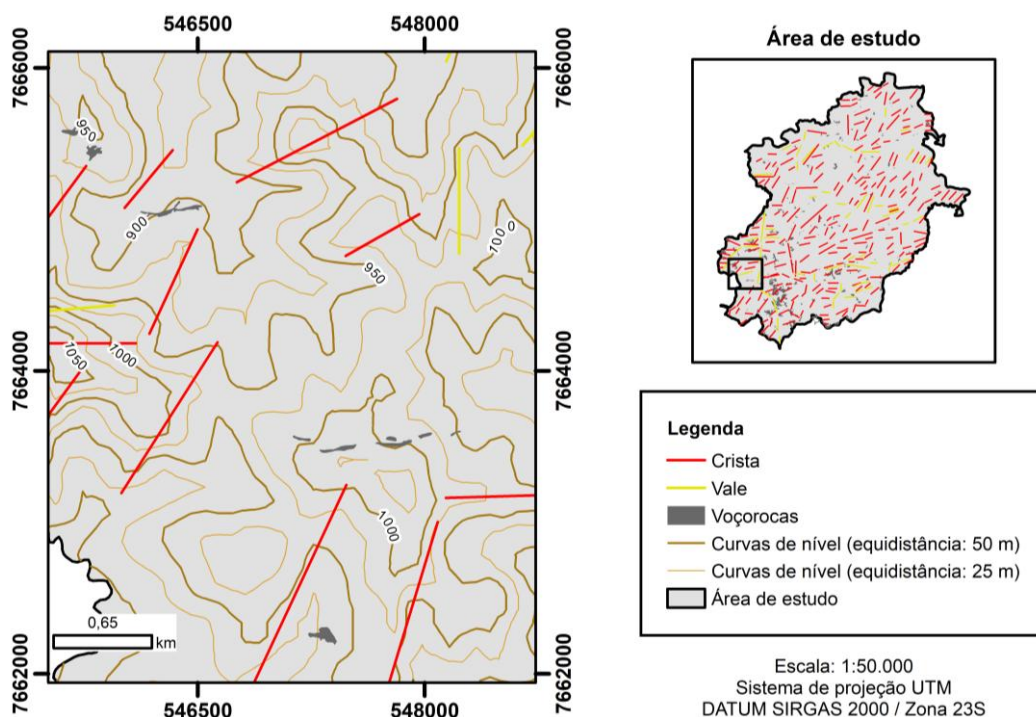


Figura 8. Voçorocas lineares orientadas segundo a direção NE-SW.

5. CONCLUSÕES

O levantamento de feições estruturais com base em relevo sombreado elaborado a partir de imagem SRTM permitiu o mapeamento de 240 lineamentos de crista e 60 lineamentos de vale. Há predomínio do *trend* NE-SW em ambos os tipos de lineamentos, sendo esta direção preferencial também relacionada a voçorocas maiores, no sul da área de estudo, e voçorocas lineares, no sudoeste da área. O aumento da escala de mapeamento possivelmente trará mais evidências para as associações entre lineamentos estruturais e o desenvolvimento de processos erosivos, ao aumentar a densidade de feições para comparação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (Processo nº 88887.482750/2020-00) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Processo nº 405370/2023) pelo fomento à pesquisa e as bolsas de pesquisa, e ao Departamento de Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. J. D. et al. (2019) *"The Southern São Francisco Craton puzzle: Insights from aerogeophysical and geological data"* in Journal of South American Earth Sciences, Vol. 94, 102203.
- ARPA Rio Grande – Agência Regional de Proteção Ambiental da Bacia do Rio Grande (s.d.) *"Bacia Hidrográfica do Rio Grande – BHRG"*. Disponível em: <<https://arpariogrande.org.br/bhrg/>>. Acesso em: 22 jan. 2025.
- ÁVILA, C. A. et al. (2010) *"Projeto ARIM: Reavaliação das Sequências Metavulcanossedimentares a Sudoeste do Quadrilátero Ferrífero: Mapa Geológico Integrado, escala 1:100.000"*. Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Belo Horizonte.

- BARUQUI, A. M. et al. (2006) *Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da Zona Campos das Vertentes – MG. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 96. Embrapa Solos, Rio de Janeiro
- BIZZI, L. A. et al. (2003) *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Texto, mapas & SIG*. CPRM, Brasília
- BRASIL. (1983) *Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. Projeto RADAMBRASIL, Rio de Janeiro
- CASSARO, R. (2018) “*Análise dos processos erosivos na bacia do Córrego do Forro – Município de Conceição da Barra de Minas (MG): Estudo dos condicionantes geológicos-geotécnicos*”, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 159p.
- FÉRES, W. M. L., ABREU, P. A. A. (2019) *Capítulo 11: Configuração e significado de lineamentos estruturais maiores da Serra do Espinhaço Meridional*. in TULLIO, L. (2019) *Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto 3*, Atena Editora, Ponta Grossa
- FERREIRA, V. M. (2005) “*Voçorocas no município de Nazareno, MG: origem, uso da terra e atributos do solo*”, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Lavras, 84p.
- FERREIRA, V. M. et al. (2011) “*Influência antrópica e atributos de solo: inter-relações em ambientes de voçorocas na mesorregião Campo das Vertentes, MG*” in *Geografia*, Rio Claro, Vol. 36, n. 1, p. 209-219.
- HORTA, I. M. F. et al. (2005) “*Caracterização dos solos do município de Nazareno – MG*” in XIV Congresso dos Pós-Graduandos da UFLA, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- HORTA, I. M. F. (2006) “*Levantamento dos solos e ocupação da superfície do Município de Nazareno, MG*”, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, 74p.
- HORTA, I. M. F. et al. (2009) “*Levantamento de reconhecimento com apoio digital dos solos do município de Nazareno – MG*” in *Ciência e Agrotecnologia*, Vol. 33, Edição Especial, p. 1940-1947.
- IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. (s.d) “*Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Alto Rio Grande (GD1)*”. Disponível em: <<https://comites.igam.mg.gov.br/web/comites/conheca-a-bacia-gd1>>. Acesso em: 22 jan. 2025.
- IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. (s.d.) “*Bacia Hidrográfica Vertentes do Rio Grande (GD2)*”. Disponível em: <<https://comites.igam.mg.gov.br/web/comites/conheca-a-bacia-gd2>>. Acesso em: 22 jan. 2025.
- MIRANDA, E. E. (2005) *Brasil em Relevo*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 28 out. 2024.
- MORGAN, R. P. C. (2005) *Soil Erosion and Conservation*, Blackwell Publishing, 3 ed.
- MUNICÍPIO DE CONCEIÇÃO DA BARRA DE MINAS. (s.d.) “*Nossa história*”. Disponível em: <<https://cbm.mg.gov.br/pagina/3756/Hist%C3%B3rico>>. Acesso em: 4 jan. 2025.
- NAIME, U. J. et al. (2006) “*Avaliação da aptidão agrícola das terras da Zona Campos das Vertentes – MG*”. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 91. Embrapa Solos, Rio de Janeiro
- OLIVEIRA, R. Y. S. (2017) “*Análise e caracterização estrutural da Folha Cedro (SB-24-Y-B-VI). Região sul do Estado do Ceará: Província Borborema, Subdomínio Rio Grande do Norte*”, Monografia de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 84p.
- OLIVERA, D. B. et al. (2009) *Elaboração de um mapa de lineamento estrutural e densidade de lineamento através de imagem SRTM, em uma área ao norte do rio Doce, ES*. In XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Natal, RN.

- PINHEIRO, M. A. P. et al. (2020) *Reavaliação do potencial mineral das sequências metavulcanossedimentares a sudoeste do Quadrilátero Ferrífero – área de Nazareno – MG: texto e mapa geológico integrado, escala 1:100.000*. Belo Horizonte: CPRM, 2020. 87 p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE NAZARENO. (s.d.) “Dados gerais”. Disponível em: <http://www.nazareno.mg.gov.br/pagina/7356/Dados%20gerais>. Acesso em: 4 jan. 2025.
- REAL, L. S. C. (2019) *“Fractal, multifractal e lacunaridade como uma nova ferramenta de análise para voçorocas: um estudo de caso”*, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 204p.
- REAL, L. S. C. et al. (2020) *“Proposition for a new classification of gully erosion using multifractal and lacunarity analysis: A complex of gullies in the Palmital stream watershed, Minas Gerais (Brazil)”* in Catena, Vol. 186.
- SGORLA, V. et al. (2022) *“Elaboração de um mapa de lineamentos estruturais e densidade de lineamentos no município de Caxias do Sul, RS”* in XVII Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, ABGE, São Paulo, SP.
- SOARES, A. K. M. (2022) *“Análise temporal dos processos erosivos e modelagem da perda de solo na bacia do Córrego do Palmital - Minas Gerais”*, Dissertação de Mestrado, Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 175p.
- SOARES, A. K. M., ABREU, F. A. M. (2017) *“Geologia da porção leste da Folha Cedro (SB-24-Y-B-VI) região sul do Ceará”* in XXVII Simpósio de Geologia do Nordeste, SBG-NE, João Pessoa, PB.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA et al. (2010) *“Mapa de solos do Estado de Minas Gerais – Escala: 1:650.000”*. Fundação Estadual do Meio Ambiente, Belo Horizonte.