

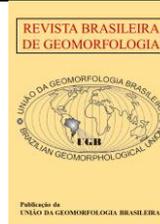


<https://rbgeomorfologia.org.br/>  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 26, nº 3 (2025)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v26i3.2606>



Artigo de Pesquisa

# Mapeamento geomorfológico de voçoroca no Cerrado brasileiro com uso de Aeronave Remotamente Pilotada (ARP)

*Geomorphological Mapping of the gully erosion in the Brazilian Cerrado using Remotely Piloted Aircraft (RPA)*

Willian Toshiaki Mizumura <sup>1</sup>, Alan Silveira <sup>2</sup>, Juliana Abreu Crosara Petronzio <sup>3</sup>, Samuel Lacerda de Andrade <sup>4</sup>, Valdiney José da Silva <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental (DPGA), Rio Claro, Brasil. [willian.mizumura@unesp.br](mailto:willian.mizumura@unesp.br).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9525-4407>

<sup>2</sup> Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Instituto de Geografia, Geociências e Saúde Coletiva (IGESC), Uberlândia, Brasil. [alan.silveira@ufu.br](mailto:alan.silveira@ufu.br).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7144-8038>

<sup>3</sup> Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Instituto de Geografia, Geociências e Saúde Coletiva (IGESC), Monte Carmelo, Brasil. [julianapetronzio@ufu.br](mailto:julianapetronzio@ufu.br).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0405-1169>

<sup>4</sup> Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Instituto de Geografia, Geociências e Saúde Coletiva (IGESC), Monte Carmelo, Brasil. [samuellandrade@ufu.br](mailto:samuellandrade@ufu.br).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8119-0840>

<sup>5</sup> Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Instituto de Geografia, Geociências e Saúde Coletiva (IGESC), Monte Carmelo, Brasil. [valdiney@ufu.br](mailto:valdiney@ufu.br).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2247-2493>

Recebido: 12/08/2024; Aceito: 14/07/2025; Publicado: 12/08/2025

**Resumo:** A cartografia geomorfológica de detalhe utiliza imagens obtidas por Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) na investigação de voçorocas, gerando dados morfométricos. Este trabalho teve como objetivo elaborar um mapeamento geomorfológico de detalhe, com definição de compartimentos e registro de feições individualizadas no interior e no entorno da voçoroca, empregando simbologias tradicionais e adaptadas. A área de estudo corresponde à voçoroca do Mombuca, no cerrado brasileiro, em Monte Carmelo (Minas Gerais – MG). A metodologia dividiu-se em pré-campo, campo e pós-campo, contemplando planejamento de voo, aquisição de imagens pela Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) da DJI (Da-Jiang Innovations), modelo Mavic Pro, em três cenários, tratamento das imagens, processamento e fotointerpretação para geração de mapeamentos morfométricos e geomorfológico. O estudo identificou cinco compartimentos geomorfológicos e registrou feições denudativas, feições agradacionais, modelados antrópicos, depósitos tecnogênicos, alterações de cursos fluviais originais e instalação de represamento. A análise integrada dos dados permitiu compreender a dinâmica erosiva natural e as influências antrópicas. Os resultados apoiam discussões metodológicas sobre mapeamentos geomorfológicos de voçorocas a partir de imagens de alta resolução.

**Palavras-chave:** cartografia geomorfológica; erosão linear; drone.

**Abstract:** Detailed geomorphological mapping employs imagery acquired by Remotely Piloted Aircraft (RPA) to investigate gullies, generating morphometric data. This study aimed to develop a detailed geomorphological map, defining geomorphological compartments and recording discrete landform features both within and around the gully, using traditional and adapted symbology. The study area corresponds to the Mombuca Gully in the Brazilian cerrado, at Monte Carmelo (Minas Gerais, Brazil). The methodology was divided into pre-field, field, and post-field stages, encompassing flight planning; image acquisition with the DJI (Da-Jiang Innovations) Mavic Pro RPA in three scenarios; image treatment, processing, and photo-interpretation to generate morphometric and geomorphological maps. The study identified five geomorphological compartments and documented denudational features, aggradational features, anthropogenic landforms, technogenic deposits, alterations of original channel courses, and the installation of impoundments. Integrated analysis of these data enabled an understanding of natural erosive dynamics and anthropogenic influences. The results support methodological discussions on geomorphological mapping of gullies using high-resolution imagery.

**Keywords:** geomorphological cartography; linear erosion; unmanned aerial vehicle.

---

## 1. Introdução

A erosão é um tema intrínseco à geomorfologia, pois deriva de processos naturais que esculpem as formas de relevo da superfície terrestre em escala de tempo geológica. O fenômeno pode ser afetado e impulsionado pelas atividades antropogênicas, o que posiciona o homem como um importante agente geomorfológico (Nir, 1983). Desse modo, a erosão constitui um processo natural que ocorre em qualquer sistema, mesmo nos equilibrados, e a intervenção humana pode acelerá-lo (Hernani et al., 2002).

Segundo Goudie (2004), os principais fatores que controlam a erosão incluem a litologia, a tectônica, o clima, a vegetação e as ações humanas. Castro e Hernani (2015) enfatizam o papel dos “solos frágeis”, termo frequentemente utilizado para solos de textura superficial arenosa, que são mais suscetíveis à erosão hídrica e/ou eólica em relação aos mais argilosos (Albuquerque et al., 2015). Guerra (2011) define a erosão como o processo de remoção de material pelas águas das chuvas, com elevada frequência em países tropicais como o Brasil.

As feições de erosão linear classificam-se em sulcos, ravinas e voçorocas (Stabile; Vieira, 2010). Os sulcos formam-se pela remoção de materiais decorrentes da ação das águas pluviais, originando pequenos canais na superfície (Fournier, 1960). Com o tempo, podem evoluir para ravinas, que representam um estágio erosivo superior (Araújo, 2011). Ao atingir o lençol freático, a evolução das ravinas pode originar as voçorocas (Almeida Filho; Teixeira Filho, 2014). Pereira e Rodrigues (2022), em recente revisão de literatura, registram que a distinção entre ravina e voçoroca, nos cenários nacional e internacional, é frequentemente estabelecida por critérios dimensionais. Os autores, contudo, ponderam a necessidade de considerar o comportamento do lençol freático e a dinâmica de infiltração. As voçorocas são erosões hídricas lineares que demonstram a intensidade dos processos pluviais, resultando em estruturas de grande porte, profundidade e largura (Guerra, 2010).

Os processos erosivos acarretam problemas ambientais e socioeconômicos em áreas rurais e urbanas (Pereira, 2020). Tais processos resultam na perda de nutrientes das camadas superiores do solo, reduzem a penetração das raízes e a retenção de água, restringem áreas para atividades agropecuárias e provocam o assoreamento de corpos hídricos, entre outras consequências (Guerra; Jorge, 2017). Exemplos desses problemas foram recentemente relatados na cidade de Buriticupu (MA), onde residências desabam para o interior das feições erosivas devido à sua ampliação (Fróes, 2023; Cardoso, 2024).

A utilização inadequada do solo, associada ao desmatamento, à falta de planejamento, à ausência de práticas conservacionistas e ao manejo incorreto, agrava os processos erosivos. Tais fatores aumentam a exposição do solo às chuvas e a suscetibilidade à formação de voçorocas (Hernani, et al. 2002). Frequentemente, as voçorocas são preenchidas com materiais de origem humana, como os da construção civil, rejeitos de materiais de empréstimo e resíduos sólidos, com a finalidade equivocada de aterrar ou conter o avanço da erosão. Segundo França Junior e Peloggia (2020), a ação humana transforma a fisiografia da paisagem, criando modelados (relevo tecnogênico) a partir de depósitos sedimentares correlatos à sua própria atividade (tecnogênicos). Moura et al. (2023) propuseram diretrizes para o registro e classificação de formas tecnogênicas, ponderando sua representatividade areaolar e linear conforme escala cartográfica adotada na investigação.

As feições erosivas, notadamente as lineares como as voçorocas, são passíveis de registro cartográfico. Esse registro contribui para sua interpretação e análise, além de subsidiar o planejamento da ocupação e da recuperação

de áreas degradadas. Neste contexto, evidencia-se o papel da cartografia geomorfológica, em especial a dedicada a mapeamentos em escala de detalhe, como ilustram os trabalhos de Tricart (1965) e Verstappen e Zuidan (1975), amplamente utilizados no Brasil por seu leque de simbologias. Em um estudo sobre a construção de símbolos geomorfológicos, Silva, Souza e Lupinacci (2022) relatam que o uso de linhas e pontos constitui uma solução para mapear feições do relevo em escala de detalhe, procedimento adotado por autores clássicos e contemporâneos. Ao abordarem o mapeamento geomorfológico de detalhe, Simon e Lupinacci (2019) discutem a importância do detalhamento cartográfico para a compreensão da dinâmica espacial. Tal mapeamento fundamenta o planejamento físico-ambiental, ao permitir a identificação e a individualização das formas do relevo, dos agentes e dos processos correlatos, com o posterior agrupamento e a definição de unidades geomorfológicas.

Tradicionalmente, a análise e o monitoramento de voçorocas eram realizados com estacas para acompanhar seu processo evolutivo (Guerra, 1996). Recentemente, Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), popularmente conhecidas como drones, passaram a ser utilizadas para essas análises e monitoramentos. A circular técnica de Figueiredo e Figueiredo (2018) descreve as etapas para a realização de voos com ARP e para a aquisição de imagens em aerolevantamentos. O estudo de Moura, Santos e Alves Junior (2021) aborda o processamento de aerofotografias de ARP e a produção de Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital do Terreno (MDT), ortomosaico e curvas de nível, com foco na geração de dados morfométricos para o estudo de uma voçoroca em Anápolis (GO). Rademan e Trentin (2020) empregaram a geração de informações morfométricas a partir de imagens de ARP para determinar as áreas de maior avanço do voçorocamento em Cacequi (RS). A investigação de Julian e Nunes (2020) utilizou ARP e geoprocessamento para calcular o volume de solo erodido em uma voçoroca em Marília (SP).

Observa-se a ampliação do uso de imagens de ARP nos estudos geomorfológicos de voçorocas, sobretudo com enfoques na produção de informações morfométricas. Contudo, a elaboração de mapas geomorfológicos de detalhe que apresentem a identificação e a individualização de formas pontuais do relevo, agrupadas em unidades geomorfológicas conforme indicado por Simon e Lupinacci (2019), não é frequente como produto cartográfico final. A individualização cartográfica de formas de relevo em voçorocas ocorre, por exemplo, no estudo de Stefanuto e Lupinacci (2023), que utilizaram imagens de ARP para sobrepor símbolos geomorfológicos individualizados a feições erosivas em Corumbataí (SP). Nesse trabalho, os autores cartografaram por fotointerpretação as feições de detalhe na estrutura erosiva com simbologias de linhas e pontos.

Na mesma perspectiva, este trabalho teve como objetivo elaborar um mapeamento geomorfológico de detalhe com o uso de imagens de ARP. O mapeamento contemplou, por fotointerpretação, o registro das feições de relevo individualizadas no interior e no entorno da voçoroca do Mombuca, inclusive as de origem humana, por meio de simbologias específicas. Adicionalmente, o mesmo mapeamento propôs uma compartimentação da voçoroca, fundamentada em dados morfométricos e na fotointerpretação. Desse modo, buscou-se organizar um mapa geomorfológico de detalhe que identificasse os compartimentos da voçoroca e suas feições individualizadas. Para tanto, foram empregados conceitos e simbologias da cartografia geomorfológica de detalhe, além de recursos técnicos de sensoriamento remoto e geoprocessamento para a aquisição e o tratamento das imagens de ARP.

## 2. Área de Estudo

O mapeamento geomorfológico proposto aplica-se ao planejamento de uso e ocupação e à recuperação de áreas degradadas, uma vez que a voçoroca do Mombuca se localiza em uma área sob intensa influência de ações antropogênicas urbanas, particularmente pelo seu preenchimento com depósitos tecnogênicos. A feição está posicionada nas imediações da cidade de Monte Carmelo, na Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, e dista aproximadamente 2,5 km da malha urbana, com área total de 0,6 km<sup>2</sup> (Figura 1).

O contexto antropogênico, somado à presença de solos e saprolitos frágeis derivados de granitoides do complexo Monte Carmelo (Codemig, 2017) em uma área do cerrado brasileiro, justifica a escolha do local como objeto de estudo. Trabalhos de campo realizados em áreas desse complexo granítico evidenciaram processos erosivos lineares associados à fragilidade da cobertura superficial. Tal cobertura é marcada por materiais suscetíveis à dinâmica físico-hídrica em condições de clima tropical (Barbosa et al., 2018; Casagrande, 2023; Estrada, 2023).

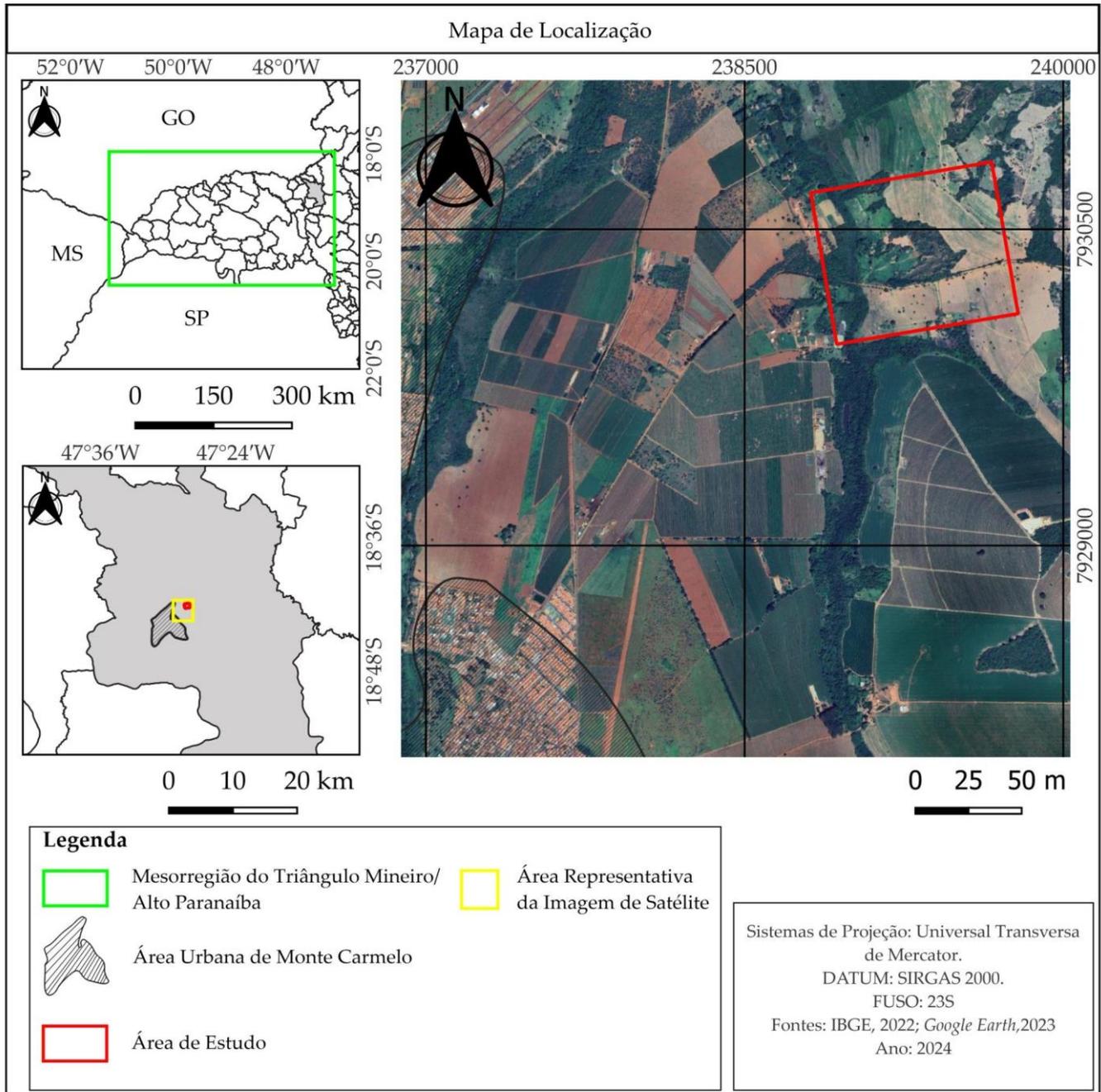


Figura 1. Localização da área de estudo.

Regionalmente, a área está inserida no Domínio Morfoclimático do Cerrado (Ab'Sáber, 2003) e corresponde à morfoestrutura dos Planaltos Dissecados do Alto Paranaíba (Rodrigues; Augustin; Nazar, 2023), que integram a morfoestrutura da Faixa de Dobramento Brasília (Codemig, 2017). Na região, predominam Latossolos, Cambissolos e Neossolos (Motta; Baruqui; Santos, 2004), sob clima Tropical Semiúmido (Novais, 2011). Na área investigada, destaca-se a presença de Cambissolos, reconhecidos em campo pela ocorrência de um horizonte diagnóstico B incipiente (Bi). Este horizonte exibe pedogênese pouco avançada, evidenciada pelo baixo desenvolvimento da estrutura do solo (Embrapa, 2018). Segundo Arantes (2022), o grau de suscetibilidade dos Cambissolos à erosão relaciona-se à proporção de argila, uma vez que um menor teor desse mineral resulta em agregação reduzida entre as partículas maiores, o que torna o solo mais propenso à remoção.

### 3. Materiais e Métodos

A metodologia para o mapeamento geomorfológico estruturou-se em três etapas sequenciais e integradas: pré-campo, campo e pós-campo (Quadro 1). A definição dessas etapas baseou-se nas demandas do trabalho de campo, que incluíram a aquisição de imagens de ARP para três cenários. O mapa geomorfológico de detalhe resultante constitui o produto principal deste trabalho e, em conjunto com as observações de campo, fundamentou a interpretação da dinâmica erosiva da voçoroca.

**Quadro 1.** Síntese das etapas e procedimentos da pesquisa.

<b>Etapas</b>	<b>Atividades e Procedimentos</b>
Pré-Campo	Definição dos planos de voo
Campo	Realização dos levantamentos aéreos com ARP e coleta de coordenadas com GNSS (sistema global de navegação por satélite) de precisão
Pós-Campo	Processamento das imagens aéreas
	Geração da base cartográfica e de mapas temáticos morfométricos
	Elaboração do mapa geomorfológico de detalhe
	Seleção de imagens do Google Earth para registro dos depósitos tecnogênicos

O planejamento dos voos iniciou-se com a delimitação da área de estudo em imagens do Google Earth e com a exportação do arquivo *Keyhole Markup Language* (KML) para o aplicativo *DroneDeploy*. Os três planos de voo foram elaborados com os mesmos parâmetros de altitude, ângulo da câmera e níveis de sobreposição frontal e lateral das imagens. O ângulo da câmera foi ajustado para 90° em relação à ARP, posicionando-a perpendicularmente à superfície. Adotaram-se sobreposições mínimas de 70% (frontal) e 60% (lateral), com altitude de voo de 100 metros em relação à superfície (Figueiredo; Figueiredo, 2018).

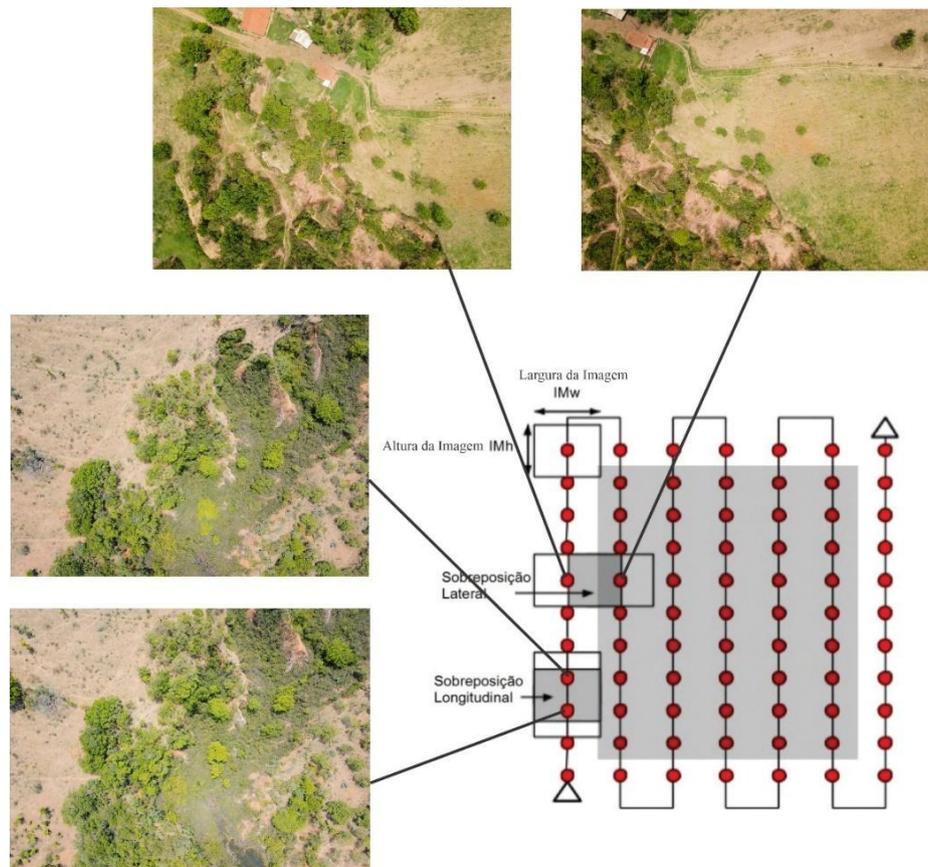
A aquisição das imagens em campo foi realizada com a ARP DJI Mavic Pro nos cenários de outubro de 2022 e fevereiro de 2024 (período chuvoso) e de maio de 2023 (período de estiagem). Simultaneamente aos voos, foram instalados pontos de referência (Tabela 1), cujas coordenadas foram obtidas em tempo real (RTK) com um receptor GNSS L1/L2 do Laboratório de Topografia e Geodésia (LTGEO IGESC/UFU Monte Carmelo). Este procedimento visou aumentar a acurácia posicional e altimétrica dos dados da voçoroca.

**Tabela 1.** Coordenadas dos pontos de referência (SIRGAS 2000, UTM fuso 23 S).

<b>Pontos</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
1	239465,182	7930491,581	870,294
2	239597,872	7930359,665	869,893
3	239597,872	7930245,269	858,462
4	239202,122	7930203,570	847,633
5	239058,640	7930243,957	846,575
6	239216,640	7930573,958	857,082

O tratamento e o processamento das imagens de ARP dos três cenários foram realizados com o software Agisoft Metashape, no Laboratório de Sensoriamento Remoto e Fotogrametria (LASER IGESC/UFU Monte Carmelo). Nesse processo, as imagens foram sobrepostas conforme os planos de voo (Figura 2) e integradas para gerar o ortomosaico e o Modelo Digital do Terreno (MDT). O MDT representa exclusivamente as cotas do terreno, desconsiderando vegetação e edificações (Figueiredo; Figueiredo, 2018).

De acordo com Oliveira et al. (2017), a geração do MDT no Agisoft Metashape ocorre a partir da classificação dos elementos em duas categorias: 'classe solo', que contém os pontos do terreno, e 'classe não solo', que abrange os elementos acima da superfície. Após a classificação e a desativação da 'classe não solo', o MDT é obtido pela execução da seguinte sequência de comandos no software: *Workflow > Align Photos; Workflow > Build Dense Cloud; Tools > Classify Ground Points; Workflow > Build Mesh; Tools > Smooth Mesh; e Workflow > Build DEM*.



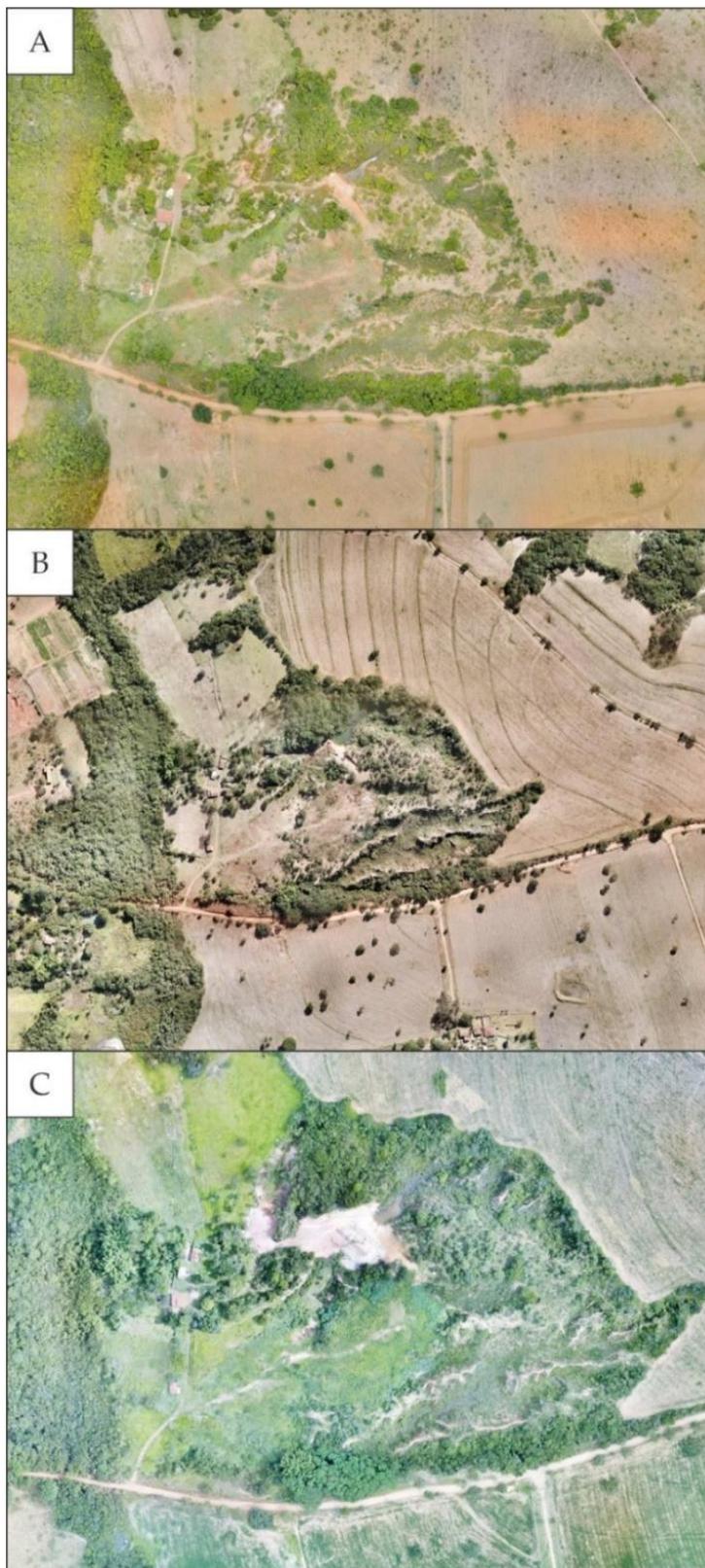
**Figura 2.** Sobreposição das fotografias aéreas adquiridas por meio de voos ARP para geração de ortomosaicos. Fonte: Adaptada de PIX4D (2015).

A construção dos ortomosaicos (Figura 3) exigiu uma alteração no procedimento de classificação da nuvem de pontos, com a ativação de todas as opções da ‘classe não solo’. A sequência de comandos foi a mesma utilizada para o MDT, diferenciando-se apenas pela execução final do comando *Build Orthomosaic*. O ortomosaico de outubro de 2022 serviu como base para a organização cartográfica, e as curvas de nível foram extraídas do MDT por meio do comando *Tools > Generate Contours*. Posteriormente, realizou-se a vetorização dos canais fluviais e pluviais, dos represamentos e das vias de acesso por meio da fotointerpretação das imagens. Todos os processamentos para a elaboração da base cartográfica e dos mapas morfométricos e geomorfológico foram executados no software QGIS 3.22.16, em escala 1:7.000.

O mapa hipsométrico, que representa as classes de altimetria, foi elaborado a partir do MDT. Para isso, os dados foram agrupados em nove classes com intervalos de cinco metros: <801 m; 805–810 m; 810–815 m; 815–820 m; 820–825 m; 825–830 m; 830–835 m; 835–840 m; e >840 m. De forma similar, o mapa de declividade, que expressa o gradiente das vertentes, foi gerado a partir do MDT. As classes de declividade, com intervalos de 0–2%, 2–5%, 5–12%, 12–30%, 30–45% e >45%, foram baseadas em Silva e Lupinacci (2021). Esses produtos, em conjunto com a fotointerpretação dos três aerolevantamentos, subsidiaram a elaboração do mapa geomorfológico de detalhe.

Para a elaboração do mapa geomorfológico, deu-se preferência às imagens do aerolevantamento de maio de 2023. A coleta durante o período de estiagem proporcionou maior nitidez e resolução visual. Nesta etapa, realizou-se a compartimentação da voçoroca e a identificação das feições denudacionais e agradacionais no interior de cada compartimento. Foram definidos os seguintes compartimentos (Figura 4):

- Área Dissecada: localizada no interior da voçoroca, representa o compartimento efetivamente erodido que abriga os canais fluviais e pluviais.
- Vertentes Direcionadas à Voçoroca: correspondem a todas as áreas do entorno que drenam em direção à feição erosiva principal ou à Planície e Terraço Fluvial (Aptf) do córrego Mombuca.



**Figura 3.** Ortomosaicos gerados para a área de estudo. Cenários. A - out/2022; B - mai/2023; C - fev/2024.

- Formas Residuais Conectadas às Vertentes Direcionadas à Voçoroca: constituem conexões sutis entre as reentrâncias do rebordo erosivo e as formas residuais da Área Dissecada.

- Formas Residuais Não Conectadas às Vertentes: localizam-se no interior da Área Dissecada e apresentam níveis topográficos similares aos das Formas Residuais Conectadas.
- Acumulação de Planícies e Terraços Fluviais (Aptf): correspondem a áreas de deposição e acumulação de sedimentos aluviais. São encontradas principalmente ao longo do córrego Mombuca, onde deságuam os canais da voçoroca, e em porções menores no interior da Área Dissecada.

As feições denudacionais individualizadas (Figura 5) foram categorizadas e interpretadas da seguinte forma:

- Rebordo Erosivo: feição que delimita os compartimentos de Vertentes Direcionadas à Voçoroca, Formas Residuais Conectadas e Área Dissecada.
- Antigo Rebordo Erosivo: corresponde às rupturas de relevo no compartimento de Formas Residuais Não Conectadas.
- Piping: feições localizadas nas paredes do rebordo erosivo, que se constituem como dutos erosivos subsuperficiais observados em campo.
- Depósito de Borda: feições que ocorrem no rebordo erosivo, acumuladas predominantemente na base da parede. Derivam do desprendimento e da deposição de materiais mais suscetíveis à erosão no sopé da vertente.
- Rupturas Topográficas: desníveis abruptos localizados nas vertentes.
- Sulcos: feições erosivas lineares resultantes do escoamento superficial.

A representação das feições individualizadas nos compartimentos geomorfológicos (Figura 4) empregou símbolos consolidados na cartografia de detalhe (Figuras 4 e 5). Foram adotados os símbolos para Canal Pluvial e Fluvial, Corte de Estradas e Terraços Agrícolas de Tricart (1965), e para Vale de Fundo Plano, Vale Encaixado em "V", Ruptura Topográfica e Sulcos de Verstappen e Zuidan (1975). Adicionalmente, utilizou-se o símbolo de Drenagem Original Aterrada proposto por Silveira e Cunha (2012).

Dada a ausência de simbologia específica para algumas feições de voçorocas, foram realizadas adaptações com base na literatura. O símbolo de Rebordo Erosivo foi adaptado da Ruptura Topográfica de Verstappen e Zuidan (1975); o de Antigo Rebordo Erosivo, da Crista Simétrica do IBGE (2009); o de Depósito de Borda, do símbolo para Movimento de Massa do IBGE (2009); e o de Edificações Rurais, do modelo de Silva, Silveira e Barbosa (2023).

Adicionalmente, foram selecionadas imagens orbitais históricas da área para determinar os anos de surgimento dos depósitos tecnogênicos e do entulhamento dos antigos canais fluviais da voçoroca. Para essa análise, utilizaram-se principalmente imagens dos anos de 2007, 2016, 2017, 2018 e 2019, obtidas da plataforma Google Earth. A expansão dos depósitos tecnogênicos ao longo do período investigado foi registrada por meio de polígonos com intensidade de cor vermelha (Figura 4). As formas resultantes desses depósitos ainda foram avaliadas conforme a classificação de Moura et al. (2023).

#### 4. Mapeamentos morfométricos e geomorfológico de detalhe

Das frentes erosivas regressivas da voçoroca mapeada, partem canais fluviais com orientação E-W que se direcionam ao córrego Mombuca, cujo fluxo segue o sentido S-N (Figura 6). As cotas altimétricas na área mapeada situam-se entre valores inferiores a 805 m e superiores a 840 m (Figuras 7 e 8). No setor da voçoroca, os valores altimétricos variam entre 815 m e 840 m, o que representa um desnível de 25 m para a feição erosiva. Nos topos convexos, predominam as classes de declividade de 0–2% e 2–5%, enquanto na alta vertente a declividade aumenta para 5–12% (Figura 9). Na média vertente, onde a feição erosiva se instala, as classes atingem valores mais elevados (12–30%, 30–45% e >45%). No fundo do vale, por sua vez, o gradiente diminui novamente, apresentando classes de <2%, 2–5% e 5–12%.

Foram definidos cinco compartimentos geomorfológicos para a voçoroca estudada. Nesses compartimentos, registraram-se cartograficamente as feições individualizadas e o avanço gradual dos depósitos tecnogênicos (Figura 10). O mapa geomorfológico de detalhe (Figura 10) compõe-se de polígonos hachurados que representam os cinco compartimentos e os depósitos tecnogênicos (em gradiente de cor vermelha). O mapa inclui, ainda, linhas

e símbolos pontuais que indicam dados topográficos, modelados de entalhe, feições denudacionais e modelados antrópicos (Figura 11).

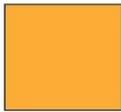
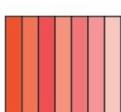
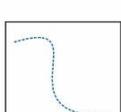
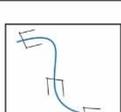
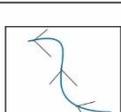
Compartimentos e Feições Mapeadas		Imagens ARP	Polígonos e Símbolos	Fontes
Compartimentos da Voçoroca	Área Dissecada			Convenção Cartográfica
	Vertentes Direcionadas à Voçoroca			Convenção Cartográfica
	Formas Residuais Conectadas às Vertentes Direcionadas à Voçoroca			Convenção Cartográfica
	Formas Residuais Não Conectadas às Vertentes			Convenção Cartográfica
	Aptf (Planície e Terraços Fluviais)			Adaptado de Tricart (1965)
Depósitos Tecnogênicos				Convenção Cartográfica
Águas Correntes e Modelos de Entalhe	Canal Fluvial			Convenção Cartográfica/ Tricart (1965)
	Canal Pluvial			Convenção Cartográfica/ Tricart (1965)
	Vale de Fundo Plano			Verstappen e Zuidan (1975)
	Vale Encaixado em 'V'			Verstappen e Zuidan (1975)

Figura 4. Estruturação da legenda que compõem o mapa geomorfológico de detalhe da voçoroca do Mombuca.

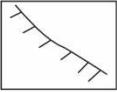
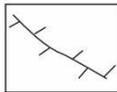
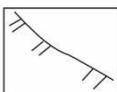
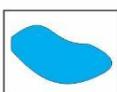
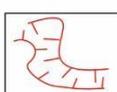
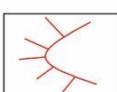
Compartimentos e Feições Mapeadas		Imagens ARP	Polígonos e Símbolos	Fontes
Feições Denudativas	Rebordo Erosivo			Adaptado da Feição de Ruptura Topográfica de Verstappen e Zuidan (1975)
	Antigo Rebordo Erosivo			Adaptado da Feição de Crista Simétrica do IBGE (2009)
	Depósito de Borda			Adaptado da Feição de Fenômenos de Movimento de Massa do IBGE (2009)
	Ruptura Topográfica			Verstappen e Zuidan (1975)
	Sulcos			Verstappen e Zuidan (1975)
Modelados Antrópicos	Represamento			Convenção Cartográfica
	Reservatório para Uso Agrícola			Convenção Cartográfica
	Estradas			Convenção Cartográfica
	Cortes de Estradas			Tricart (1965)
	Terraços Agrícolas			Tricart (1965)
	Drenagens Originais Aterradas			Silveira e Cunha (2012)
	Edificação Rural			Adaptado de Silva, Silveira e Barbosa (2023)

Figura 5. Estruturação da legenda que compõem o mapa geomorfológico de detalhe da voçoroca do Mombuca.

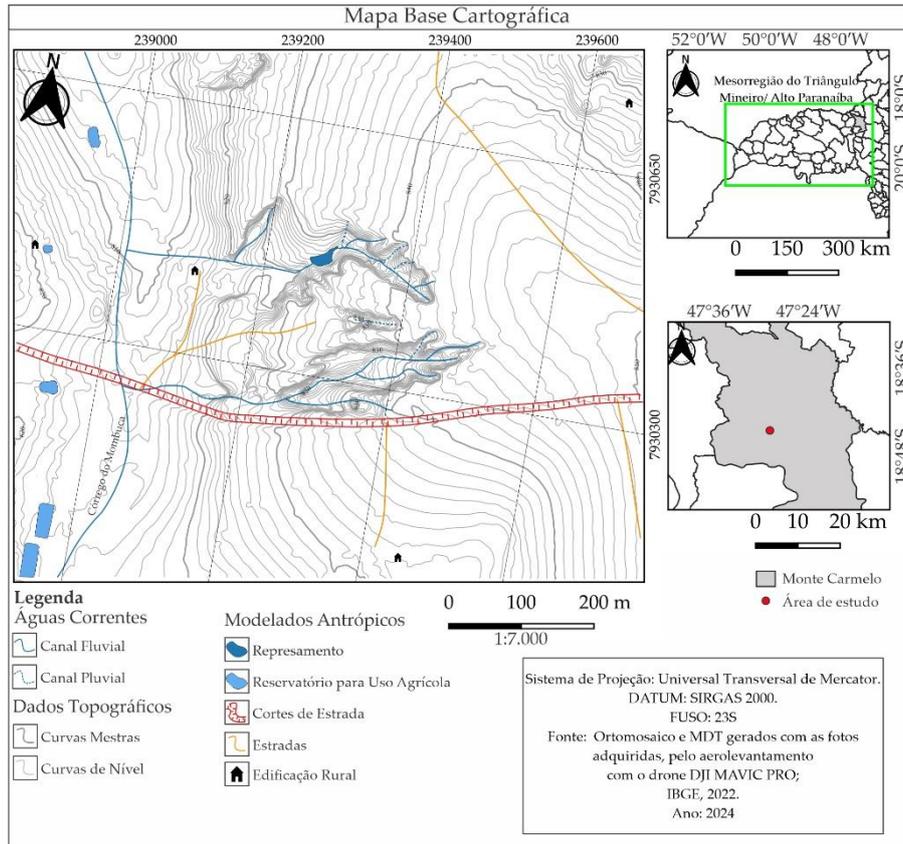


Figura 6. Base cartográfica da área de estudo.

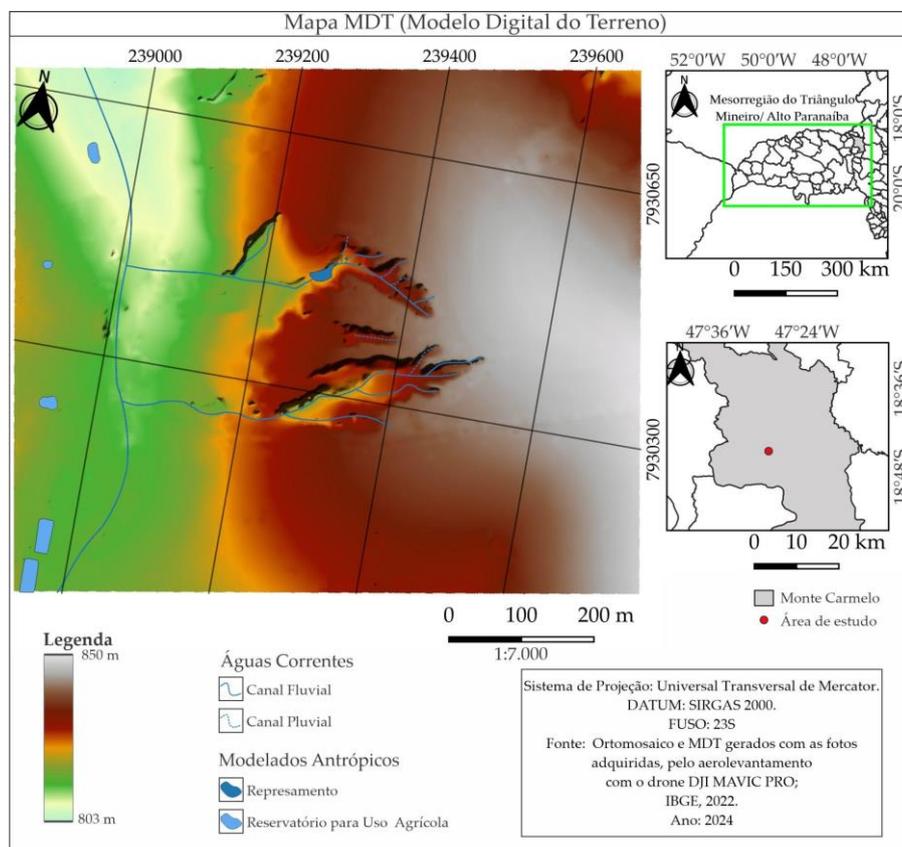


Figura 7. MDT da área de estudo.

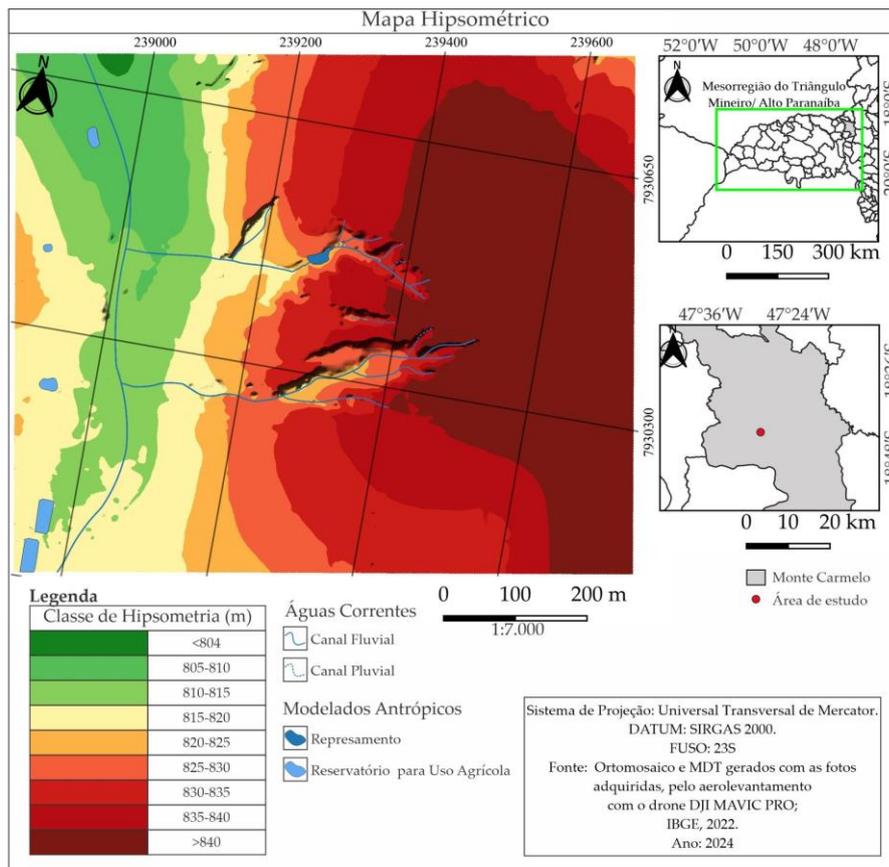
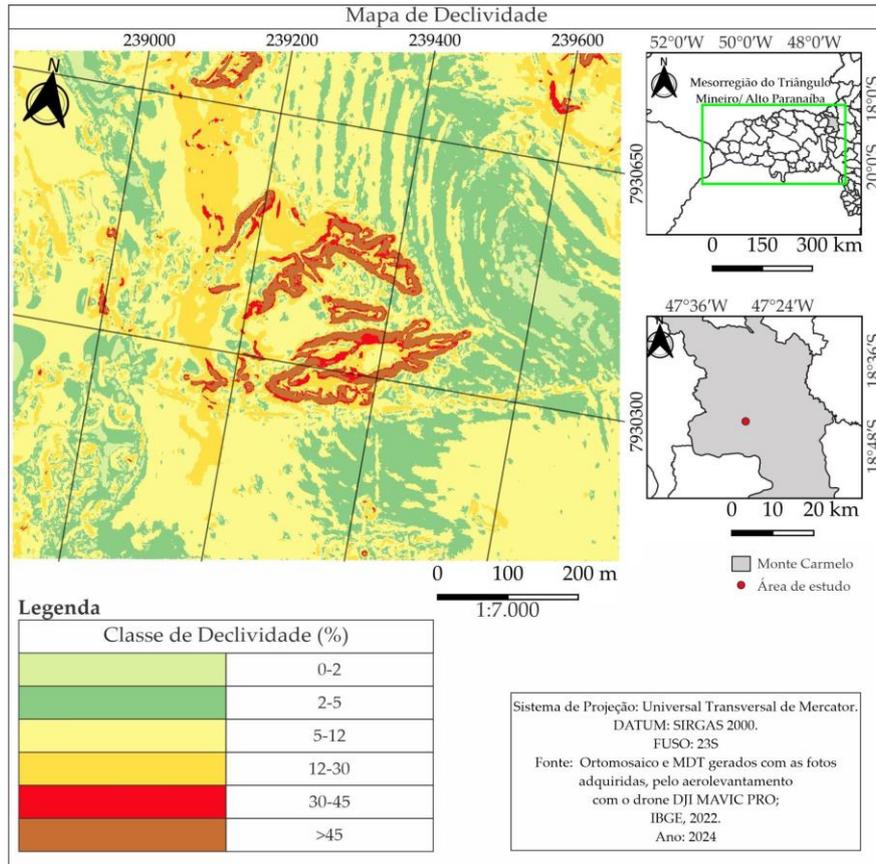


Figura 8. Mapa hipsométrico da área de estudo.



**Figura 9.** Mapa de declividade da área de estudo.

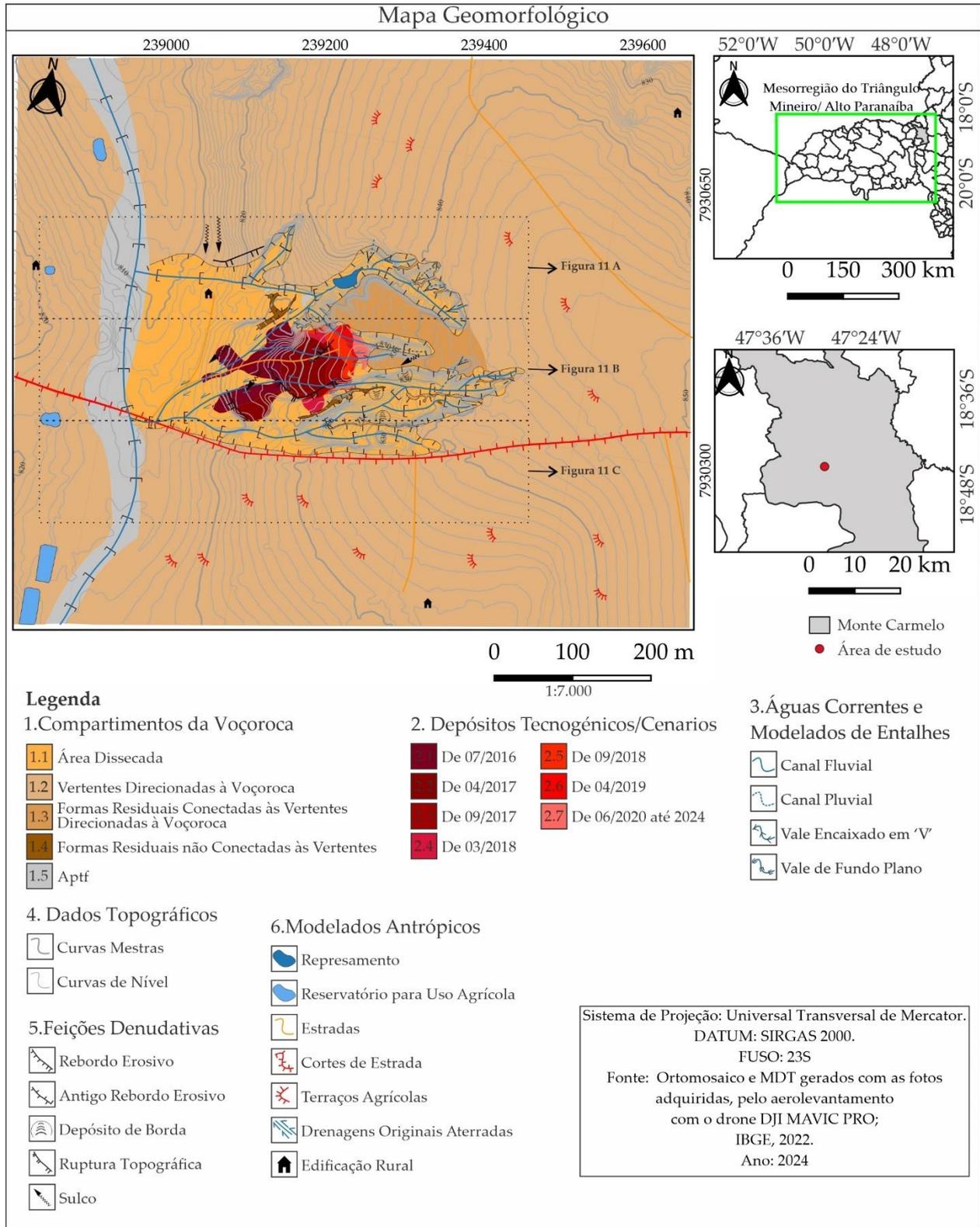
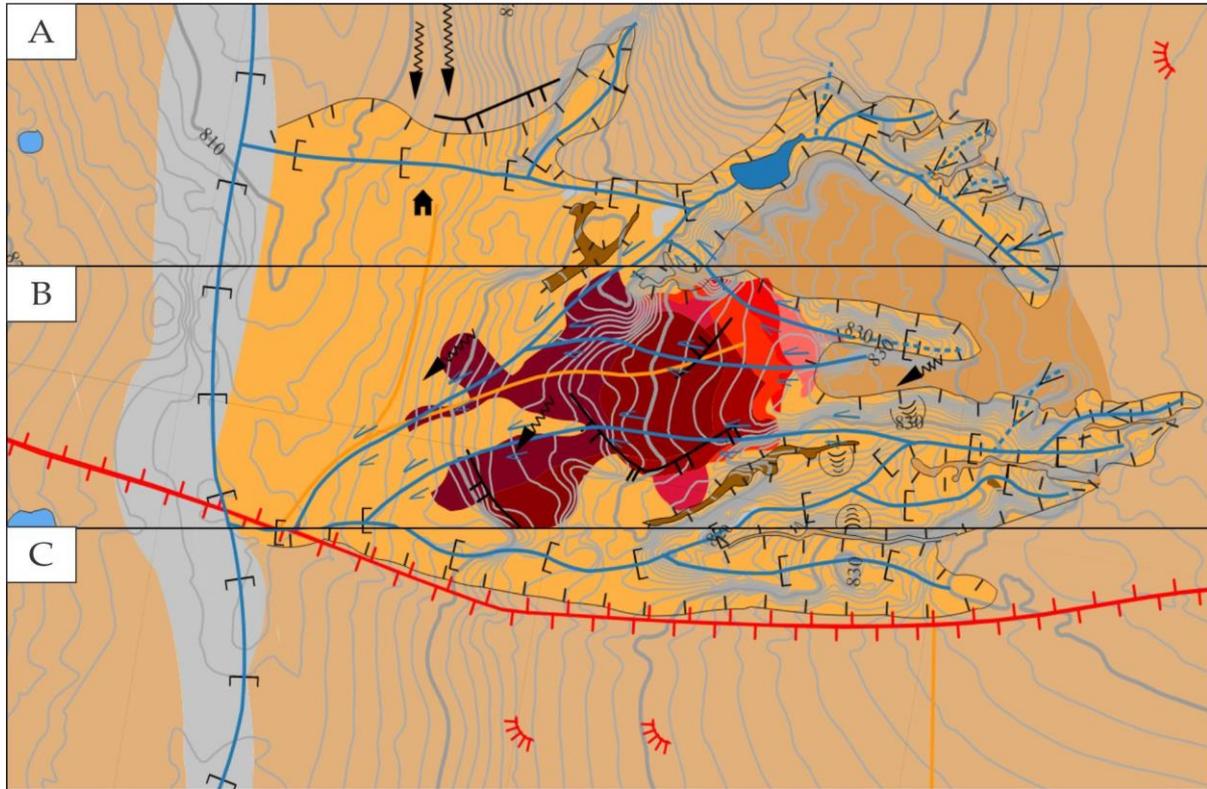


Figura 10. Mapa geomorfológico de detalhe da área de estudo.

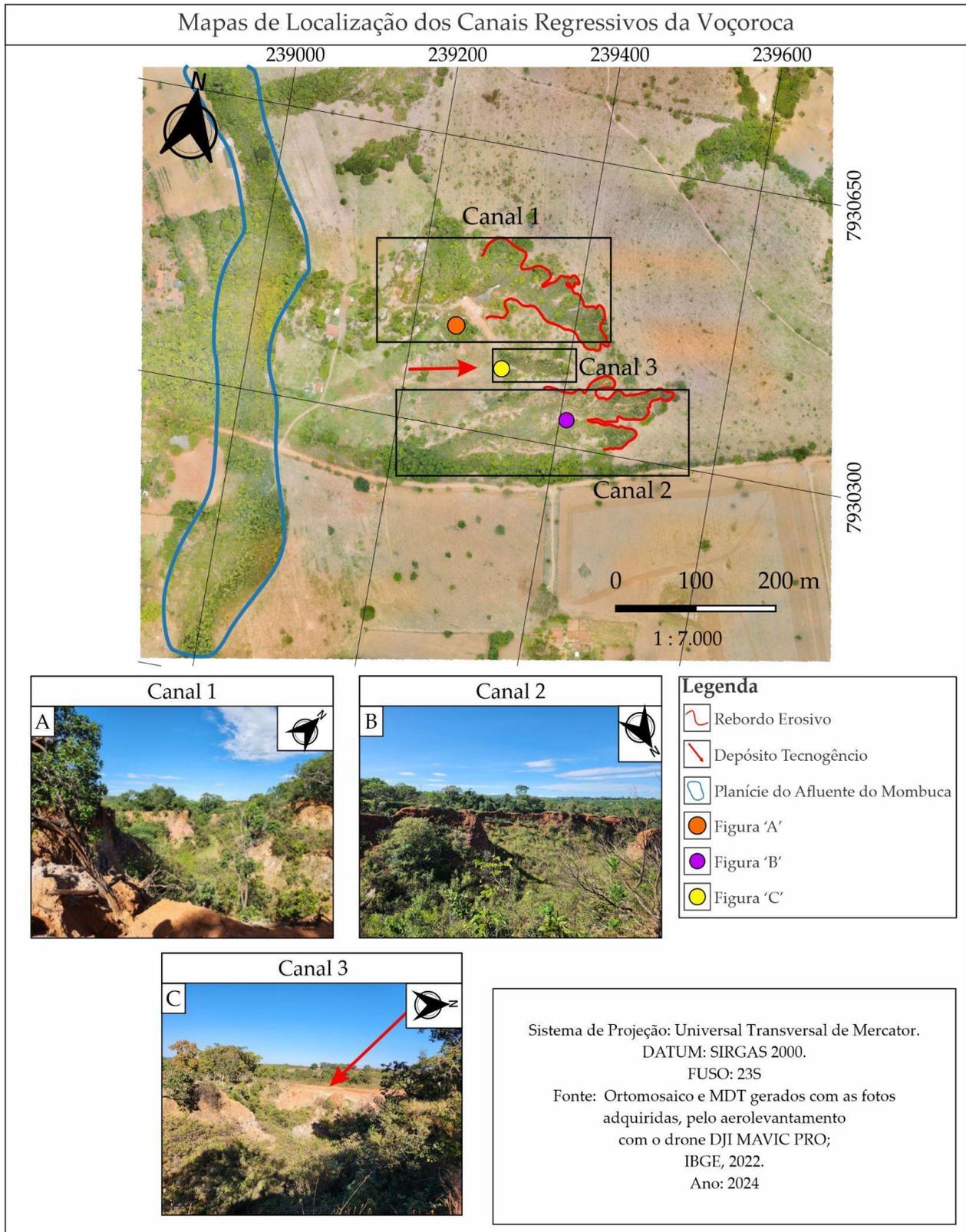


**Figura 11.** Fragmentos e ampliação do mapa geomorfológico detalhe, constituído por polígonos (compartimentos geomorfológicos e depósitos tecnogênicos), linhas e símbolos pontuais (dados topográficos, águas correntes e modelados de entalhes, feições denudativas e modelados antrópicos). A legenda desta figura encontra-se nas figuras 4, 5 e 10.

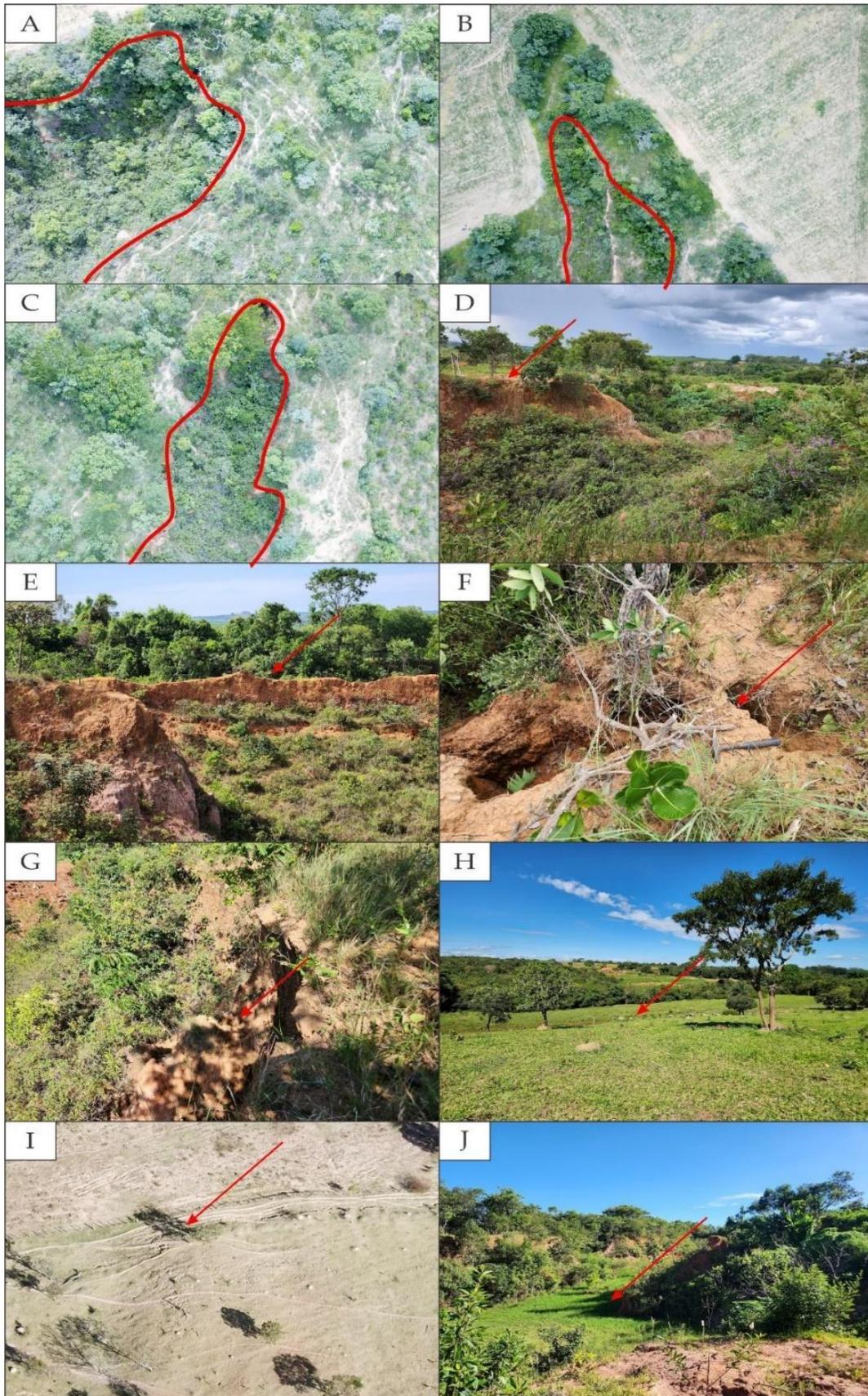
A voçoroca do Mombuca apresenta três frentes erosivas principais (Figura 12), com o recuo do canal 1 em direção a SE (Figura 13 A) e dos canais 2 e 3 para E (Figuras 13 B e C). Essa dinâmica indica uma possível futura conexão entre as frentes, caso o recuo persista. A intensidade da dinâmica erosiva é evidenciada pelas feições denudacionais identificadas nos compartimentos geomorfológicos (Figura 10). Tais feições foram documentadas em campo e incluem: rebordo erosivo (Figura 13 D), antigo rebordo erosivo (Figura 13 E), *piping* (Figura 13 F), depósito de borda (Figura 13 G), rupturas topográficas (Figura 13 H) e sulcos (Figura 13 I). Os materiais provenientes dessa dinâmica são transportados e depositados nos canais fluviais, onde formam Acumulações de Planícies e Terraços Fluviais (Aptf) no interior da voçoroca (Figura 13 J).

A análise conjunta de imagens de diferentes períodos, obtidas do Google Earth e dos três aerolevantamentos com ARP, permitiu a identificação de intervenções humanas na área. Tais ações ocorreram especialmente no interior da voçoroca e incluem a alteração na orientação do fluxo dos canais, a construção de represamentos e o preenchimento por depósitos tecnogênicos (Figura 14).

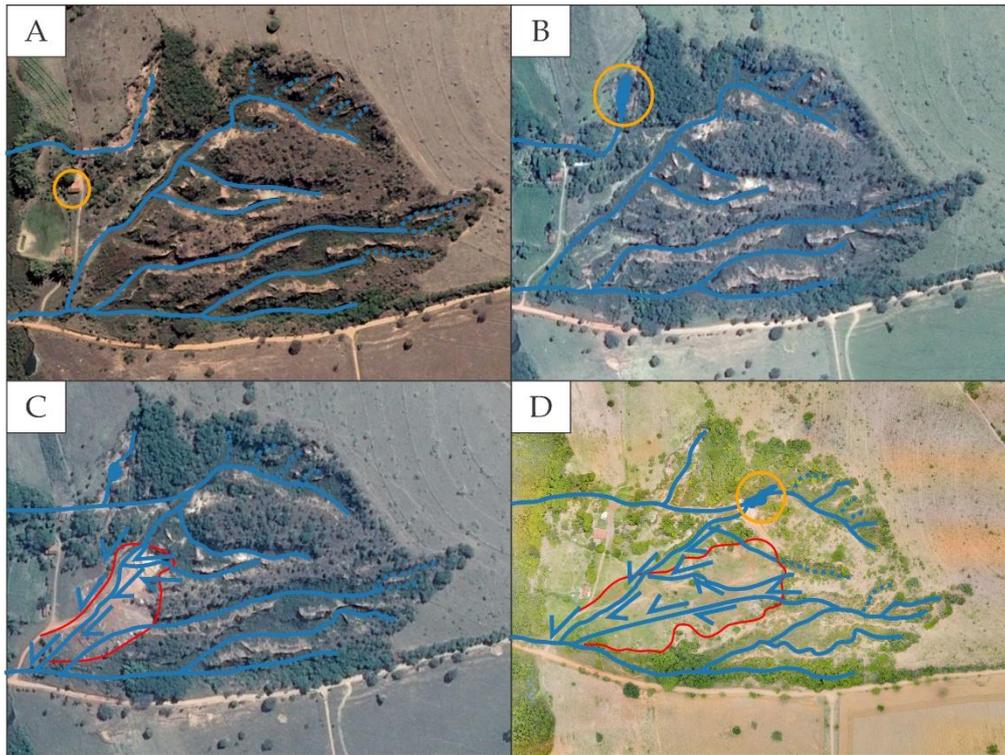
Em 2007, a voçoroca exibia pouca interferência humana em seu interior, com exceção de uma edificação rural próxima ao deságue dos canais, enquanto o entorno já era ocupado por atividades agropecuárias (Figura 14 A). Em 2013, registrou-se a construção de um represamento em um canal adjacente à voçoroca, em uma vertente que também drena para o córrego Mombuca (Figura 14 B). O ano de 2016 marcou a intensificação das ações antrópicas no interior da feição erosiva, com o aterramento de canais por depósitos tecnogênicos e a alteração da orientação do fluxo de água (Figura 14 C). No cenário de 2022, observa-se o aterramento do canal 3 por depósitos tecnogênicos (Figura 12), sobretudo na porção central da voçoroca, e uma alteração significativa na orientação dos fluxos hídricos (Figura 14 D). Nesse mesmo período, constatou-se a existência de um represamento no canal 1 (Figuras 10 e 12).



**Figura 12.** Identificação das frentes erosivas realizadas por canais. A: canal 1; B: canal 2; C: canal 3.



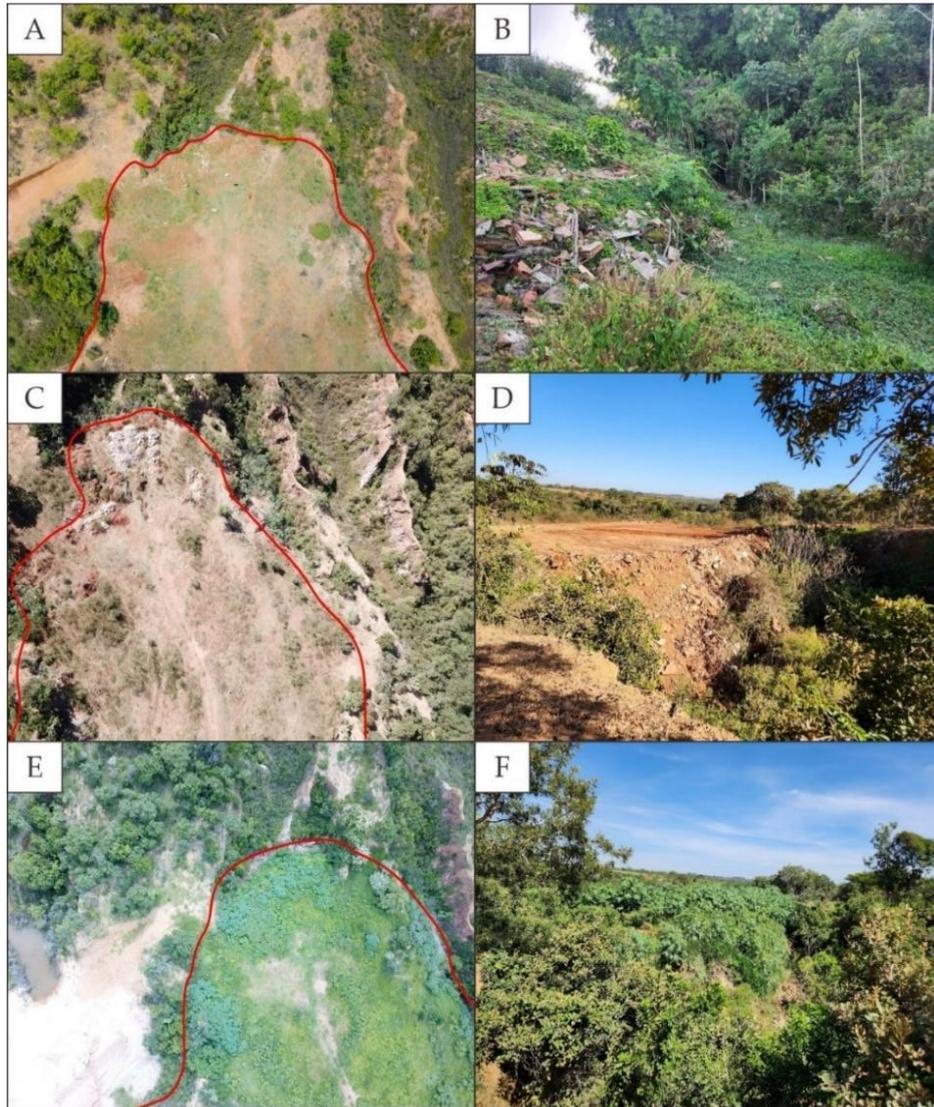
**Figura 13.** A, B e C: Três frentes erosivas presentes na voçoroca (A: Canal 1; B: Canal 2 e C Canal 3); D: Rebordo Erosivo; E: Antigo Rebordo Erosivo; F: *Piping*; G: Depósitos de Borda; H: Ruptura Topográfica; I: Sulcos; J: Aptf no interior da voçoroca.



**Figura 14.** A: Cenário da voçoroca no ano de 2007 (destaque à edificação rural construída); B: Cenário da voçoroca no ano de 2013 (destaque ao represamento construído em canal posicionado à direita da voçoroca); C: Cenário da voçoroca no ano de 2016 (destaque ao aterramento de canais e mudança na orientação do fluxo d'água); D: Cenário da voçoroca no ano de 2022 (destaque ao aterramento por depósitos tecnogênicos do canal 3 com significativa alteração na orientação dos fluxos de água). Fonte: A, B e C: Google Earth; D: imagem ARP (cenário out/2022).

No período investigado por este estudo (2022 a 2024), observou-se a expansão da frente de preenchimento por materiais tecnogênicos, especialmente no canal 3. A imagem de ARP de outubro de 2022 (Figura 15 A) mostra a frente de expansão dos depósitos, os quais também foram registrados em campo (Figura 15 B). A comparação entre as imagens de ARP de outubro de 2022 (Figura 15 A) e maio de 2023 (Figura 15 C) revela a ampliação do preenchimento tecnogênico, fato confirmado por registros de campo (Figura 15 D). Na imagem de fevereiro de 2024 (Figura 15 E), não se observou uma expansão expressiva da frente de depósitos. Contudo, verificou-se um aumento na densidade da vegetação em função da estação chuvosa (verão) (Figura 15 F). Conforme a classificação proposta por Moura et al. (2023), a forma tecnogênica resultante do acúmulo de materiais no canal 3 se categoriza por Elevação e Superposição Tecnogênica do tipo Tecnoforma de Acumulação.

A construção de um represamento no interior da voçoroca constitui outra intervenção antrópica relevante na área de estudo. Na imagem de ARP de outubro de 2022 (Figura 16 A), é evidente a barragem instalada no canal 1 (Figura 12), em um segmento com elevado grau de entalhamento da drenagem (Figura 16 B). A comparação entre as imagens de outubro de 2022 (Figura 16 A) e maio de 2023 (Figura 16 C) indica a perda de material da barragem. Essa perda deveu-se à formação de sulcos erosivos pela ação do escoamento pluvial, conforme registrado em campo (Figura 16 D). A imagem de fevereiro de 2024 (Figura 16 E) mostra uma remobilização significativa dos materiais da barragem, com a formação de sulcos erosivos e ravinas. A investigação de campo revelou que materiais (solos e saprolitos) foram removidos do rebordo erosivo para serem utilizados na compactação e sustentação da barragem (Figura 16 F). Contudo, com as chuvas do final de 2023, os materiais que compõem o aterro da barragem sofreram uma intensificação dos processos de erosão linear. Devido ao revolvimento de materiais para construção da barragem, essa forma tecnogênica ficaria categorizada como Corrugação Tecnogênica do tipo Tecnoforma de Turbação (Moura et al., 2023).

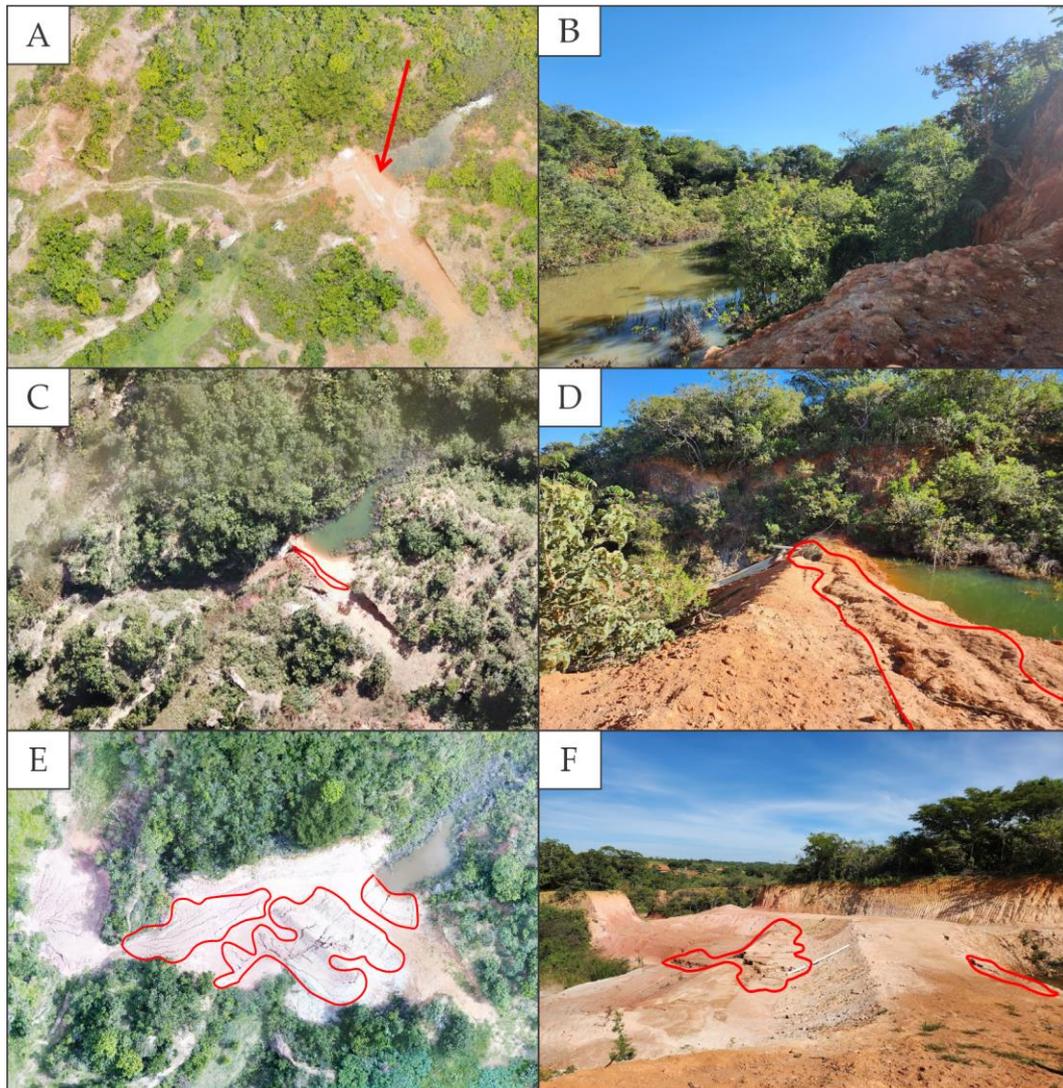


**Figura 15.** A e B: Imagem ARP e registro em campo, out/2022; C e D: Imagem ARP e registro em campo, mai/2023; E e F: Imagem ARP e registro em campo, fev/2024. As linhas em vermelho nas imagens indicam os limites das frentes de ampliação dos depósitos tecnogênicos.

## 5. Compartimentos geomorfológicos e as feições individualizadas

O Quadro 2 sintetiza as informações obtidas neste estudo para os cinco compartimentos geomorfológicos definidos na voçoroca do Mombuca (Figura 10). O compartimento da Área Dissecada (1.1) (Figura 10) possui características morfométricas que indicam alto potencial de dinâmica erosiva (Figuras 7, 8 e 9). Tal potencial é confirmado pelo registro de feições denudacionais, como rupturas topográficas e sulcos. Os modelos de entalhe dos canais fluviais e pluviais são predominantemente vales em “V”, com ocorrências pontuais de vales de fundo plano. Os modelados antrópicos incluem os depósitos tecnogênicos (Figura 15), os represamentos (Figura 16), as drenagens originais aterradas (Figuras 14 C e D) e as edificações rurais (Figura 14 A).

Os canais 1 (Figuras 17 A e B) e 2 (Figuras 17 C e D) são os principais responsáveis pela dissecação desse compartimento. Contudo, entre esses dois canais principais, identificou-se um terceiro canal (Figuras 17 E e F), atualmente desconectado dos demais. O preenchimento deste terceiro canal com depósitos tecnogênicos (Figura 14 D) interferiu nos valores registrados pelos mapeamentos de hipsometria, MDT e declividade (Figuras 7 a 9). Na área preenchida por esses depósitos (Figura 15), os valores de hipsometria e MDT aumentaram, enquanto os de declividade diminuíram. Esse resultado contradiz a dinâmica de entalhe natural da rede de drenagem no processo de voçorocamento.



**Figura 16.** A: Represamento do canal 1, imagem ARP de 2022; B: Canal 1 represado e rebordo erosivo ao fundo (2022); C: Represamento do canal 1, imagem ARP de 2023; D: Aterro do represamento do canal 1 com erosão linear (2023); E: Represamento do canal 1, imagem ARP de 2024; F: Ampliação da erosão linear do aterro de represamento do canal 1 (2024).

O canal preenchido (3) conectava-se, originalmente, ao canal 1 da voçoroca (Figura 14 A). Com a expansão do preenchimento tecnogênico (Figura 15), a orientação do curso de água original foi alterada (Figuras 14 C e D). O mapa geomorfológico (Figura 10), por meio do gradiente de cor vermelha, registra o momento em que a voçoroca sofreu a intensificação do preenchimento tecnogênico (julho de 2016) e evidencia os anos subsequentes de expansão dessa deposição antrópica.

O compartimento das Vertentes Direcionadas à Voçoroca (1.2) é o de maior dimensão na área estudada, pois abrange todo o entorno da feição, a montante do rebordo erosivo. Devido à sua maior abrangência, apresenta variedade nas classes altimétricas e de gradiente de vertente, embora estas sejam predominantemente inferiores às do compartimento da Área Dissecada (1.1). As feições denudacionais incluem rupturas topográficas (Figura 13 H) e sulcos (Figura 13 I). Os modelados antrópicos, por sua vez, correspondem a reservatórios de uso agrícola, terraços, edificações rurais, estradas e cortes de estradas (Figura 11). A presença desses modelados indica a intensa atividade agropecuária no entorno da voçoroca.

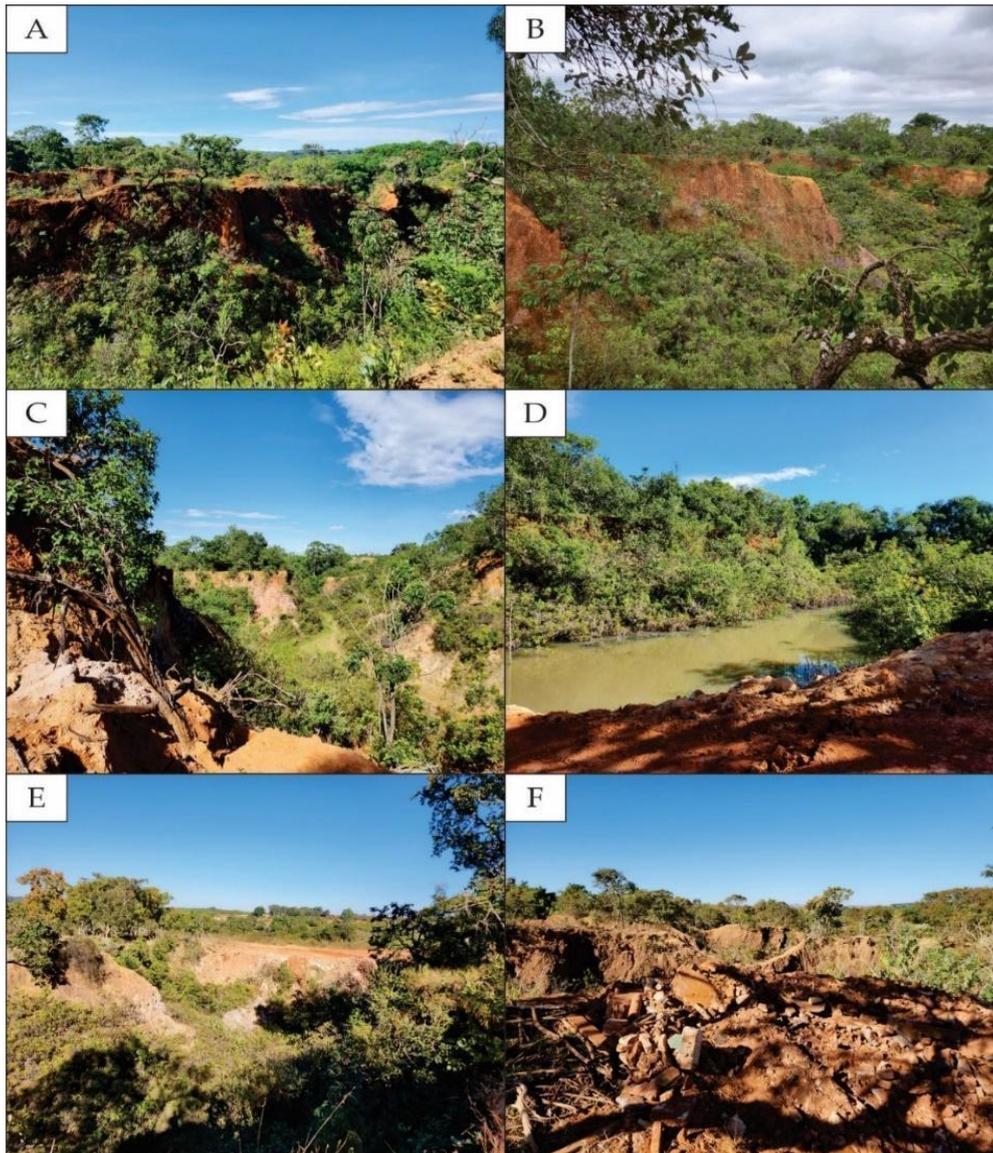
O compartimento das Formas Residuais Conectadas às Vertentes (1.3) exibe intensa ação erosiva, embora permaneça sutilmente interligado ao compartimento das Vertentes Direcionadas à Voçoroca (1.2). Este compartimento possui características morfométricas acentuadas, as quais se concentram principalmente no segmento de vertente que marca a transição para a Área Dissecada (1.1). Tais características correspondem às

formas denudacionais dos rebordos erosivos (Figura 13 D), que delimitam a voçoroca das áreas adjacentes suscetíveis à erosão regressiva (1.1).

**Quadro 2.** Síntese com as informações adquiridas por compartimentos geomorfológicos.

Compartimentos	Classe Hipsométrica (m)	Classe Declividade (%)	Feições Denudativas	Águas Correntes e Modelados de Entalhe	Modelados Antrópicos
1.1-Área Dissecada	804; a 840.	2-5; 5-12; 12-30; 30-45; >45	Ruptura Topográfica; Sulcos	Canal Fluvial; Canal Pluvial; Vale Encaixado em 'V'; Vale de Fundo Plano.	Depósitos Tecnogênicos; Represamento; Drenagens Originais Aterradas; Edificação Rural.
1.2-Vertentes que Direcionadas à Voçoroca	804 a 850	0-2; 2-5; 5-12;	Ruptura Topográfica; Sulcos	Canal Fluvial	Reservatório para Uso Agrícola; Estradas; Cortes de Estradas; Terraços Agrícolas; Edificação Rural
1.3-Formas Residuais Conectadas às Vertentes Direcionadas à Voçoroca	820 a 840	5-12; 12-30; 30-45; >45	Rebordo Erosivo; Depósito de Borda; Sulcos; Piping	Canal Pluvial	X
1.4-Formas Residuais não Conectadas às Vertentes	820 a 840	5-12; 12-30; 30-45; >45	Antigo Rebordo Erosivo; Depósito de Borda; Piping	Canal Pluvial	X
1.5-Aptf	804 a 825	0-2 2-5	X	Canal Fluvial; Vale de Fundo Plano.	X

Neste compartimento, registram-se também feições denudacionais como os depósitos de borda (Figura 13 G), que são locais de acumulação de material proveniente da erosão do rebordo, e o *piping* (Figura 13 F), que se manifesta como dutos subsuperficiais na parede do rebordo erosivo. Segundo Augustin e Aranha (2006), os dutos formados por *piping* são feições erosivas subsuperficiais presentes em diversos tipos de climas. A literatura específica atribui a esses dutos uma participação significativa no desenvolvimento de voçorocas. Tais feições foram identificadas apenas em campo, onde ocorrem em grande quantidade e são responsáveis pelo recuo do rebordo.



**Figura 17.** A e B: Canal 1; C e D: Canal 2; E e F: Canal 3, com depósito tecnogênico.

O compartimento das Formas Residuais Não Conectadas às Vertentes (1.4) apresenta características morfológicas e morfométricas semelhantes às das Formas Residuais Conectadas (1.3). Contudo, não se encontra mais interligado ao compartimento das Vertentes Direcionadas à Voçoroca (1.2) e posiciona-se em uma área mais interna da Área Dissecada (1.1). A similaridade estende-se aos modelados de entalhe, com a presença de canais pluviais em vales com perfil em “V”. No que tange às feições denudacionais registradas, a principal diferença é a presença do antigo rebordo erosivo (Figura 13 E). Este é constituído por rupturas de relevo que marcam o limite de terrenos com maior resistência relativa à erosão, os quais já não se conectam às Vertentes Direcionadas à Voçoroca (1.2).

O último compartimento definido, de Acumulação de Planícies e Terraços Fluviais (Aptf) (1.5), exhibe reduzida variação altimétrica e de declividade. Os modelados de entalhe correspondem a canais fluviais com vales de fundo plano, uma feição resultante da acumulação de sedimentos provenientes dos processos erosivos dos compartimentos a montante (Figura 13 J). No entorno do canal fluvial do córrego do Mombuca, observaram-se solos hidromórficos com presença de buritis, o que caracteriza o ecossistema local como vereda. Registra-se que essas áreas vêm sofrendo degradação pela ação antrópica.

## 6. Conclusões

Diante da ampliação dos trabalhos de geomorfologia aplicada ao estudo de voçorocas com o uso de imagens de ARP, este estudo elaborou um mapeamento geomorfológico de detalhe. O objetivo foi representar a compartimentação da voçoroca e registrar as feições denudacionais e agradacionais individualizadas no seu interior e entorno, por meio de simbologias tradicionais e adaptadas da cartografia geomorfológica. Para tal finalidade, selecionou-se a voçoroca do Mombuca, localizada nas proximidades do perímetro urbano de Monte Carmelo, por apresentar intensa interferência da ação humana em sua dinâmica.

O mapeamento geomorfológico de detalhe registrou, por meio de polígonos, cinco compartimentos para a voçoroca e a evolução dos depósitos tecnogênicos, cuja intensificação ocorreu a partir de 2016. Adicionalmente, o mapeamento documentou a mudança na orientação de cursos fluviais originais e a instalação de um represamento. Além disso, nos cinco compartimentos geomorfológicos, foram registradas feições pontuais por meio de simbologias que evidenciam a erosão regressiva de dois rebordos erosivos principais.

A voçoroca do Mombuca formou-se pela erosão linear de materiais frágeis (Cambissolos e saprolitos) derivados do granito do Complexo Monte Carmelo. Esses materiais estão sujeitos ao escoamento superficial sob condições de clima tropical, o qual entalha os canais, atinge as águas subsuperficiais e amplia a erosão regressiva. À fragilidade dos materiais e ao regime climático somam-se as ações antrópicas. Apesar da presença de terraços agrícolas cartografados no entorno, observou-se em campo a ocorrência de escoamento difuso e de sulcos nesse compartimento. Destacam-se as intervenções no interior da voçoroca, como a construção do represamento, que sofre desmonte por erosão linear, e o preenchimento por depósitos tecnogênicos, principalmente no canal 3.

O mapeamento geomorfológico apresentado neste estudo, além de analisar a dinâmica erosiva da voçoroca, contribui para a discussão metodológica sobre mapeamentos com imagens de alta resolução (ARP). Essa contribuição ocorre em dois aspectos: a proposição de uma compartimentação geral da feição erosiva e o registro de feições individualizadas no interior e entorno desses compartimentos, com a aplicação e a adaptação de simbologias tradicionais da cartografia geomorfológica.

**Contribuições dos Autores:** Concepção, W.T.M. e A.S.; Metodologia, W.T.M., A.S., J.A.C.P., S.L.A.; Investigação, W.T.M., A.S., J.A.C.P., S.L.A. e V.J.S.; Tratamento e análise de dados, W.T.M., A.S., J.A.C.P. e S.L.A.; Redação – Versão inicial; W.T.M.; Redação – revisão e edição, A.S., J.A.C.P., S.L.A. e V.J.S. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

**Disponibilidade de dados:** Os arquivos raster responsáveis pela geração dos mapas morfométricos e os arquivos vetoriais do mapa geomorfológico estão disponíveis em <http://doi.org/10.5281/zenodo.15724795>

**Agradecimentos:** Os autores agradecem a concessão de bolsa referente ao Edital nº 06/2022 PIBIC/CNPq/UFU.

**Conflito de Interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.

## 7. Referências

1. AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159. p.
2. ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; GATINONI, L. C.; ROVEDDER, A. P.; COSTA, F. S. Fragilidade de solos: uma análise conceitual, ocorrência e importância para o Brasil. In: CASTRO, S. S.; HERNANI, L. C. **Solos Frágeis: Caracterização, manejo e sustentabilidade**. 1ª Ed. Brasília: Embrapa, 2015. p. 25-50.
3. ALMEIDA FILHO, G. S.; TEIXEIRA FILHO, J. A importância da diferenciação dos processos erosivos lineares dos tipos ravina e boçoroca. In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 12., 2014, Natal – RN. **Anais...** Natal – RN: ABRH, 2014. ISSN 2359 – 1900.
4. ARANTES, A. E. Suscetibilidade à Erosão Laminar e Linear da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho e sua Relação com o Uso e Cobertura da Terra em 2012. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 6, p. 3032 – 3046, 2022. DOI: 10.26848/rbgf.v15.6.p3032-3046
5. ARAUJO, T. P. de. **Estudo do desencadeamento das erosões lineares concentradas em uma área do município de São Pedro/SP**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.18.2011.tde-06122011-104236>

6. AUGUSTIN, D. H. R. R.; ARANHA, P. R. A. A ocorrência de voçorocas em Gouveira, MG: Características e Processos Associados. **Geonomos**. n. 14, p. 75-86, 2006. DOI: 10.18285/geonomos.v14i2.112
7. BARBOSA, M. I. M.; SILVEIRA, A.; MORAES, L. C.; ARAUJO, L. M. B. Expressão Geomorfológica Derivada de Diques Toleíticos na Região de Abadia dos Dourados (MG). In: 49º Congresso Brasileiro de Geologia, 49. 2018, Rio de Janeiro (RJ). **Anais...** Rio de Janeiro: Congresso Brasileiro de Geologia, 2018.
8. CARDOSO, R. Voçorocas voltam a engolir casas e amedrontar moradores em Buriticupu, no MA. **Portal G1**, Maranhão, 15 abril 2024. Available at: <<https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2024/04/15/vocorocas-voltam-a-engolir-casas-e-amedrontar-moradores-em-buriticupu-no-maranhao-video.ghtml>>. Accessed: 09 July 2024.
9. CASAGRANDE, D. **Mapa de suscetibilidade à erosão dos solos dos municípios consorciados à RIDES no Alto Paranaíba**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2023.
10. CASTRO, S.S; HERNANI, L.C. **Solos Frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade**. Brasília, DF : Embrapa, 2015. 367p.
11. CODEMIG. **Mapa Geológico Folha Estrela do Sul – SE.23-Y-A-IV**. CODEMIG, 2017. Escala 1: 100.000.
12. EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª Ed. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.
13. ESTRADA, M. J. T. **Caracterização geológica-geotécnica do sítio urbano de Monte Carmelo e entorno – MG**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2023.
14. FIGUEIREDO, E.; FIGUEIREDO, S. **Planos de Voo Semiautônomos para Fotogrametria com Aeronaves Remotamente Pilotadas de Classe 3**. Rio Branco/AC: Embrapa - Circular Técnica, 2018. 56p. Available at:<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1100860/1/26750.pdf>>. Accessed: 30 May 2023.
15. FRANÇA JUNIOR, P; PELOGGIA, A.U.G. Os conceitos de antropoceno e tecnógeno e o estudo da humanidade como agente geomorfológico. In: FRAÇA JUNIOR, P. (Org.) **Geomorfologia do tecnógeno e antropoceno: perspectivas teóricas e estudos aplicados em ambientes urbanos**. Ituiutaba: Barlavento, 2020. p. 16 - 35.
16. FRÓES, R. Entenda o que são as voçorocas que formam crateras e abismos de terra no Maranhão. **Portal G1**, Maranhão, 02 mai. 2023. Available at: <https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2023/05/02/entenda-o-que-sao-as-vocorocas-fenomeno-que-provoca-abismos-de-terra-e-ameaca-engolir-cidade-no-maranhao.html>>. Accessed: 15 May 2023.
17. FOURNIER, F. **Climat et erosion**. Presses Universitaires de France, 1960.
18. GOOGLE. **GOOGLE EARTH**. 2023.
19. GOUDIE, A. **Encyclopedias of Geomorphology I**. Oxford: Routledge, 2004. 1156p.
20. GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. Erosão dos solos e movimentos de massa-recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2017. p. 7-30.
21. GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 6ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 17-55.
22. GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. 10ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 149-209.
23. GUERRA, A. J. T. Técnicas e métodos utilizados no monitoramento dos processos erosivos. **Sociedade & Natureza**, v. 8, n. 15, p. 15-19, 1996. DOI: 10.14393/SN-v8-1996-61708.
24. HERNANI, L. C. FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; DE MARIA, I. C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J. N. Erosão e seu Impacto In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J. R. R. **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 46-60.
25. IBGE. **Malha Municipal**. Available at: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>> Accessed: 30 March 2024.
26. IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182p.
27. JULIAN, C.; NUNES, J. O. R. Uso de vant e geoprocessamento para cálculo de solo erodido em voçoroca localizada no distrito de Amadeu Amaral. Marília/SP - Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 4, p. 835-845, 2020. DOI: 10.20502/rbg.v21i4.1818.
28. MOTTA, P.E.; BARUQUI, A.M.; SANTOS, H.G. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da região do Alto Paranaíba, Minas Gerais**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004, 238 p.
29. MOURA, N. V.; SILVA, T. M.; GOUVEIA, I. C. M. C.; PEIXOTO, M. N. O.; FELIPPE, M. F.; OLIVEIRA, A. M. S.; PELOGGIA, A. U. G.; NOLASCO, M. C. Diretriz para mapeamento de formas de relevo tecnogênicas no Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 4, 2023. DOI: 10.20502/rbgeomorfologia.v24i4.2466.
30. MOURA, R. V.; SANTOS, A. L. F.; ALVES JUNIOR, L. R. Mapeamento da Voçoroca em Anápolis-GO por Meio de Geotecnologias. **Brazilian Applied Science Review**, v. 5, n. 2, p. 1002-1012, 2021. DOI: 10.34115/basrv5n2-0.
31. NIR, D. **Man, a Geomorphological Agent: an introduction to anthropic geomorphology**. Jerusalém: Keter Publishing House, 1983. 175p.

32. NOVAIS, G. T. **Caracterização climática da mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Parnaíba e do entorno da Serra da Canastra (MG)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, 2011, 175 p.
33. OLIVEIRA, D. R.; CICERELLI, R. E.; ALMEIDA, T.; MAROTTA, G. S. Geração de Modelo Digital do Terreno a Partir de imagens obtidas por veículo aéreo não tripulado. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. I.], v. 69, n. 6, 2017. DOI: 10.14393/rbcv69n6-44316.
34. PEREIRA, J. S. O protagonismo da ciência geográfica nos estudos de erosão por voçorocamento. **Leia Cientista, Portal Comunica UFU**, 25 nov. 2020. Available at: < <https://antigo-comunica.ufu.br/noticia/2020/11/o-protagonismo-da-ciencia-geografica-nos-estudos-de-erosao-por-vochorocamento> > Accessed 14 August 2022.
35. PEREIRA, J. S.; RODRIGUES, S. C. Erosão por Voçorocas: Estado da Arte. In: CARVALHO JUNIOR, O. A.; GOMES, M. C. V.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. (Org). **Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira**. Brasília: Universidade de Brasília, 2022. p. 499 – 525.
36. PIX4D. **Step 1: Before Starting a Project > 1. Designing the Acquisition Plan > a. Selecting the Image Acquisition Plan Type – PIX4Dmapper**. Available at: < <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557459> >. Accessed: 15 October 2023.
37. RADEMANN, L. K.; TRENTIN, R. Novas geotecnologias aplicadas ao estudo geomorfológico: exemplo de morfometria da Voçoroca do Areal, Cacequi - RS. **Geotextos (Online)**, v. 16, p. 209-230, 2020. DOI: 10.9771/geo.v16i1.35474
38. RODRIGUES, S. C.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; NAZAR, T. I. S. M. Mapeamento Geomorfológico do Estado de Minas Gerais: uma proposta com base na morfologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 1, 2023. DOI: 10.20502/rbg.v24i1.2233
39. SILVA, B. F.; SILVEIRA, A.; BARBOSA, M. I. M. A cobertura natural e o uso da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão do Brejo, Triângulo Mineiro: relações com os componentes do meio físico. **Revista Cerrados**, v. 21, n. 2, p. 348-376, 2023. DOI: 10.46551/rc24482692202331
40. SILVA, B. F.; SOUZA, G. F. LUPINACCI, C. M. Construção dos símbolos geomorfológicos para cartografia de detalhe em SIG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, n. 4, 2022. DOI: 10.20502/rbg.v23i4.2201
41. SILVA, M. M.; LUPINACCI, C. M. Análise de variáveis morfométricas da Alta Bacia do Ribeirão da Boa Vista – Corumbataí (SP): subsídio ao planejamento ambiental de paisagem rural em escala de detalhe.. **Geografia**, Rio Claro – SP. v. 46, n. 1, 2021. ISSN: 1983-8700.
42. SILVEIRA, A.; CUNHA, C. M. L. Caracterização Geomorfológica em Área de Expansão Urbana: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 3, p 235-244, 2012. DOI: 10.20502/rbg.v13i3.167
43. SIMON, A. H.; LUPINACCI, C. M. Introdução. In: SIMON, A.H.; LUPINACCI, C.M. (Org.). **A Cartografia Geomorfológica como Instrumento para o Planejamento**. Ed. UFPEL, Pelotas, v. 01, p. 08-11, 2019.
44. STABILE, R. A.; VIEIRA, B. C. Características morfológicas das feições erosivas da bacia Água da Faca, Piratininga (SP): considerações preliminares. In: VIII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 8. 2010, Recife (PE). **Anais...** Recife (PE): [s.n.], 2010.
45. STEDANUTO, B. E.; LUPINACCI, C. M. The use of high resolution images in mapping of landscapes affected by erosion. **Água y Territorio / Water and Landscape**, [S.I.], n. 23, e7291, 2023. DOI: 10.17561/at.23.7291.
46. TRICART, J. **Principes et Méthodes de la Geomorphologie**. Paris: Masson et cie, 1965.
47. VERSTAPPEN, H. T.; ZUIDAN, R. A. van. **ITC System of geomorphological survey**. Manual ITC Textbook, Netherlands: Enschede, v. 1, cap. 8, 1975.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.