

**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE GEOGRAFIA GEOCIÊNCIAS E SAÚDE COLETIVA  
CURSO DE BACHARELADO EM GEOGRAFIA**

**SAMUEL RESENDE VIANA**

**OS CAMPOS DE MURUNDU NO CHAPADÃO DO ZAGAIA, PARQUE NACIONAL  
DA SERRA DA CANASTRA: UMA ANÁLISE MORFOMÉTRICA**

Uberlândia-MG  
2025

**SAMUEL RESENDE VIANA**

**OS CAMPOS DE MURUNDU NO CHAPADÃO DO ZAGAIA, PARQUE NACIONAL  
DA SERRA DA CANASTRA: UMA ANÁLISE MORFOMÉTRICA**

Monografia apresentada ao curso de  
Bacharelado em Geografia da  
Universidade Federal de Uberlândia,  
como requisito para a obtenção do título  
de bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Carlos  
Rodrigues

## **AGRADECIMENTOS**

A realização deste trabalho no contexto de prazo muito curto foi um desafio. Desafio este que teria sido muito maior caso eu não houvessem na minha vida, as pessoas que me orientaram e me apoiaram ao longo dos últimos meses.

Agradeço primeiramente aos meus pais, que sempre me apoiaram e aconselharam, não só nessa realização que representa o início da minha vida acadêmica, mas em toda a minha vida. Agradeço também a Alice pelo amor e apoio, aos colegas e amigos do Laboratório de Geomorfologia e do Instituto como um todo pelas conversas e risadas.

Na realização deste trabalho, agradeço ao Silvio, pela orientação e pela paciência, ao amigo Lucas e ao professor Łukasz Pawlik pelo auxílio no processo de programação e criação dos gráficos. Por fim agradeço aos professores Jefferson e João Vitor pela participação na banca.

## RESUMO

Os campos de murundus são microtopografias circulares ou elípticas encontradas associadas a áreas úmidas no bioma Cerrado, muito abundantes no Parque Nacional da Serra da Canastra. Este trabalho se propôs a realizar o mapeamento dessas formas de relevo no Chapadão do Zagaia, parte do Parque Nacional da Serra da Canastra, seguido de uma análise morfométrica. O mapeamento dos campos de murundus foi feito através da criação de um padrão visual de interpretação. A análise morfométrica foi realizada utilizando um Modelo Digital de Elevação SRTM de resolução de 1 arcsec (~30m), que foi utilizado para a criação de mapa de hipsometria, declividade, formas de relevo (geomorphons), Índice Topográfico de Umidade (TWI) e Índice de Rugosidade do Terreno (TRI), que foram recortados segundo o mapeamento das áreas ocupadas por campos de murundus e utilizados para a criação de gráficos que foram analisados por meio de estatística descritiva para buscar compreender onde os campos de murundus se posicionam na paisagem. O mapeamento feito por fotointerpretação identificou três tipos de feições de murundus, circulares ou elípticos de pequeno porte, circulares ou elípticos de médio porte e irregulares ou alongados de grande porte. Através da análise das características morfométricas, descobriu-se que os campos de murundus do circulares ou elípticos de pequeno porte têm maior tendência a se localizar em ambientes declivosos em fundos de vertente, enquanto aqueles de montículos irregulares ou alongados de grande porte estão majoritariamente em áreas planas de topos de vertente. Já os campos de murundus circulares ou elípticos de médio porte, os mais representados, se localizam de forma relativamente intermediária.

Palavras chave: campos de murundu, morfometria, mapeamento, fotointerpretação, estatística descritiva, Serra da Canastra.



## **ABSTRACT**

Murundu fields are circular or elliptical microtopographies found associated with wetlands in the Cerrado biome, very abundant in Serra da Canastra National Park. This study aimed to map these landforms in the Chapadão do Zagaia, part of Serra da Canastra National Park, followed by morphometric analysis. The mapping of the murundu fields was accomplished by creating a visual interpretation standard. The morphometric analysis was performed using a 1 arcsec (~30 m) resolution Digital Elevation Model (SRTM), which was used to create maps of hypsometry, slope, landforms (geomorphons), Topographic Wetness Index (TWI), and Terrain Roughness Index (TRI). These maps were cropped according to the mapping of the areas occupied by murundu fields and used to create graphs that were analyzed using descriptive statistics to understand the position of the murundu fields in the landscape. Mapping using photointerpretation identified three types of mound features: small circular or elliptical, medium circular or elliptical, and large irregular or elongated. Analysis of morphometric characteristics revealed that small circular or elliptical mound fields are more likely to be located in steep environments at the bottom of slopes, while large irregular or elongated mound fields are mostly located in flat areas at the top of slopes. Medium circular or elliptical mound fields, the most common, are located in relatively intermediate locations.

Keywords: murundu fields, morphometry, mapping, photointerpretation, descriptive statistics, Serra da Canastra.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. JUSTIFICATIVA.....	2
3. OBJETIVOS.....	3
3.1. Objetivos Gerais.....	3
3.2. Objetivos Específicos.....	3
4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
4.1. Campos de Murundus.....	4
4.2. Evolução e Dinâmica da Paisagem Holocênica.....	7
4.3. História Natural dos Cupins.....	9
4.4. Aspectos Morfométricos.....	12
5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO/PESQUISA.....	15
5.1. Localização e Delimitação da Área.....	15
5.2. Contexto Geológico Regional.....	15
5.3. Relevô.....	17
5.4. Hidrografia.....	20
5.5. Clima e Vegetação.....	20
6. METODOLOGIA.....	24
6.1. 1º Etapa.....	25
6.2. 2º Etapa.....	27
6.3. 3º Etapa.....	29
7. RESULTADOS.....	30
7.1. Identificação dos Campos de Murundus.....	30
7.2. Estatística Descritiva.....	41
7.2.1. Hipsometria.....	41
7.2.2. Declividade.....	44
7.2.3. Geomorphons.....	47
7.2.4. Índice Topográfico de Umidade (TWI).....	50
7.2.5. Índice de Rugosidade do Terreno (TRI).....	53
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
9. REFERÊNCIAS.....	57
10. ANEXOS.....	61

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### Figuras

Figura 01: Oscilação esquemática do lençol freático nos murundus durante a estação seca e chuvosa.....	4
Figura 02: Esquema da evolução dos CdM segundo a hipótese da erosão diferencial.....	6
Figura 03: Estrutura de ninho epígeo, com destaque em vermelho para a camada rígida externa e em amarelo para a camada interna.....	11
Figura 04: Conceito de ângulos zenitais e nadirais e sua relação com a grandeza $\Delta$ .....	13
Figura 05: Morfologias tridimensionais simbólicas e seus geomorphons correspondentes para as 10 formas mais comuns de relevo.....	14
Figura 06: Bordas do Chapadão do Zagaia: Escarpa voltada para o Sul (A); Área dissecada voltada para o Sul (B).....	19
Figura 07: Fitofisionomias encontradas no Chapadão do Zagaia: mata de galeria (A), formação arbórea associada a afloramento rochoso (B), campo sujo (C), campo limpo com murundus (D), cerrado típico (E), campo rupestre (F).....	21
Figura 08: Vegetação na Serra da Canastra, visão para o Sul.....	23
Figura 09: Fluxograma de trabalho.....	25
Figura 10: Fluxograma do processo de criação dos gráficos.....	29
Figura 11: Feições dos 3 tipos de campo de murundu identificados nas imagens de satélite: Campo de murundus circulares ou elípticos de médio porte (A); Campo de murundus circulares ou elípticos de pequeno porte (B); Campo de murundus irregulares ou alongados de grande porte (C); Área de contato entre os 3 tipos (D).....	31
Figura 12: Campos de murundus no Chapadão do Zagaia, visada para o Norte - jun. 2025.....	34
Figura 13: Murundus irregulares ou alongados de grande porte, alongados no sentido da vertente e com indicação em azul dos enclaves sem murundus.....	35
Figura 14: Campo de murundus circulares ou elípticos de pequeno porte apresentando lineamentos condizentes com controle estrutural em vertente nas nascentes do Córrego dos Veadinhos, CdZ.....	36
Figura 15: Dois ângulos de visada de termiteiro abandonado de aproximadamente 1 metro de altura em processo de destruição em campo de murundus circulares ou elípticos de pequeno porte no CdZ.....	37
Figura 16: Túnel escavado por Tatu Canastra ( <i>Priodontes maximus</i> ) em murundu do tipo circular ou elíptico de pequeno porte (A); Murundu circular de pequeno porte com termiteiro	

destruído por Tamanduá Bandeira ( <i>Myrmecophaga Tridactyla</i> ) (B).....	38
Figura 17: Termiteiro sobre murundu, que foi atacado por Tamanduá Bandeira ( <i>Myrmecophaga Tridactyla</i> ).....	39
Figura 18: Vertente que comporta células com valores do TRI superiores a 30 e declividade superior a 40%, presença de Campo de Murundus circulares ou elípticos de pequeno porte - Chapadão do Zagaia.....	52

## Mapas

Mapa 01: Localização da Área de Estudo.....	15
Mapa 02: Litologia da Área de Estudo (Escala 1:1.000.000).....	16
Mapa 03: Hipsometria e rede de drenagem da área de estudo.....	17
Mapa 04: Declividade da área de estudo.....	18
Mapa 05: Áreas ocupadas por CdM no Chapadão do Zagaia.....	32
Mapa 06: Vertentes ocupadas por faixas sucessivas de diferentes tipos de CdM. Orientação da vertente representada pelas setas.....	33
Mapa 07: Hipsometria dos CdM no CdZ.....	41
Mapa 08: Declividade dos CdM no CdZ.....	44
Mapa 09: Geomorphons dos CdM no CdZ.....	47
Mapa 10: Índice Topográfico de Umidade (TWI) dos CdM no.....	50
Mapa 11: Índice de Rugosidade do Terreno (TRI) dos CdM no CdZ.....	53

## Tabelas

Tabela 01: Área ocupada pelos campos de murundu no Chapadão do Zagaia.....	30
--	----

## Gráficos

Gráfico 01: Histogramas representando a distribuição dos CdM - Hipsometria: Tipo 1 (A), Tipo 2 (B), Tipo 3 (C) e Área total (D).....	42
Gráfico 02: Histogramas representando a distribuição dos CdM - Declividade: Tipo 1 (A), Tipo 2 (B), Tipo 3 (C) e Área total (D).....	45
Gráfico 03: Histogramas representando a distribuição dos CdM - Geomorphons: Tipo 1 (A), Tipo 2 (B), Tipo 3 (C) e Área total (D).....	48
Gráfico 04: Histogramas representando a distribuição dos CdM - TWI: Tipo 1 (A), Tipo 2 (B), Tipo 3 (C) e Área total (D).....	51
Gráfico 05: Histogramas representando a distribuição dos CdM - TRI: Tipo 1 (A), Tipo 2 (B), Tipo 3 (C) e Área total (D).....	54

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CdM - Campo de Murundu

CdZ - Chapadão do Zagaia

MDE - Modelo Digital de Elevação

PNSC - Parque Nacional da Serra da Canastra

TWI - Índice Topográfico de Umidade

TRI - Índice de Rugosidade do Terreno

## 1. INTRODUÇÃO

Os campos de murundus são microtopografias que são encontradas associadas a áreas úmidas no Bioma Cerrado, atualmente se encontram cada vez mais ameaçados pelo avanço das atividades agropecuárias, seja pelo uso indevido dos recursos hídricos ou por sua destruição no processo de transformação de áreas para o uso agrícola. Sendo assim, o Parque Nacional da Serra da Canastra se torna um dos poucos ambientes no Brasil hoje, onde sua dinâmica não foi fortemente alterada.

O Parque Nacional da Serra da Canastra, como unidade de conservação integral, é um local onde se espera que as dinâmicas naturais permaneçam pouco alteradas se comparadas a áreas agrícolas, algo que possibilita estudos a fim de esclarecer melhor a evolução, os agentes e os processos formadores dos campos de murundus.

Todavia, apesar de sua importância e dos trabalhos como o de Nazar (2018) e Silva (2025), realizados a respeito dos campos de murundus (CdM) na Serra da Canastra, estes se deram no Chapadão do Diamante, correspondente à porção Oriental da área regularizada do Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC), enquanto isso, nunca foi realizado um mapeamento das áreas ocupadas por eles no Chapadão do Zagaia, que é correspondente à porção Ocidental do mesmo.

Considerando que os CdM são feições que ajudam a explicar a dinâmica hídrica e a evolução da paisagem, além de representarem nascentes na Serra da Canastra, que por sua vez é uma importante cabeceira de drenagem das grandes bacias hidrográficas brasileiras, há uma lacuna de conhecimento no que se refere a eles.

## 2. JUSTIFICATIVA

Os campos de murundus são áreas que ocorrem em nascentes em várias regiões do bioma Cerrado, onde se localizam nascentes de muitas das maiores bacias hidrográficas do Brasil e da América do Sul, isso faz dessas microtopografias alvos prioritários para a conservação dos recursos hídricos e por consequência a qualidade de vida da população.

Para a compreensão da gênese e evolução dos campos de murundus da Serra da Canastra, é preciso conhecer onde se localizam e como se organizam no relevo do parque nacional, coisa que nunca foi feita dentro do Chapadão do Zagaia. A observação de campo demonstra que além de muito abundantes, os campos de murundus podem ser encontrados em áreas mais diversas do que aquelas comumente citadas na literatura, sendo assim torna-se pertinente descobrir onde exatamente essas áreas se encontram, e o estudo morfométrico representa um pontapé inicial que permite estudos posteriores mais embasados.

Trabalhos como o de Confessor (2023), Silva (2025) e Confessor *et al* (2025) demonstram que os campos de murundus são fortemente ligados aos processos hidrodinâmicos na Serra da Canastra, porém nunca foi feita uma tentativa de espacializar esses processos no Chapadão do Zagaia. Essa espacialização aliada à análise da altitude, da declividade, das formas do relevo, da concentração de rugosidade e da concentração de umidade condicionada pela gravidade possuem potencial para elucidar as características das áreas onde os campos de murundus se encontram.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivos Gerais**

O presente trabalho tem por objetivo mapear os campos de murundus dentro do Chapadão do Zagaia, no Parque Nacional da Serra da Canastra, e analisá-los de acordo com aspectos qualitativos, hipsometria, declividade, Índice de Rugosidade do Terreno, Índice Topográfico de Umidade, rede de drenagem e Geomorphons a fim de melhor compreender as dinâmicas das paisagens onde esses microrrelevos se desenvolvem.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- a. Criar um padrão visual de interpretação para possibilitar o mapeamento dos CdM
- b. Mapear as áreas onde ocorrem os campos de murundus no Chapadão do Zagaia, para espacializá-los e possibilitar a análise morfométrica.
- c. Confeccionar mapas de: Hipsometria, Declividade, Índice de Rugosidade do Terreno, Índice Topográfico de Umidade, Rede de Drenagem e Geomorphons da área de estudo.
- d. Analisar a distribuição dos campos de murundus na paisagem e as características geomorfométricas dentro das áreas ocupadas pelos campos de murundus.



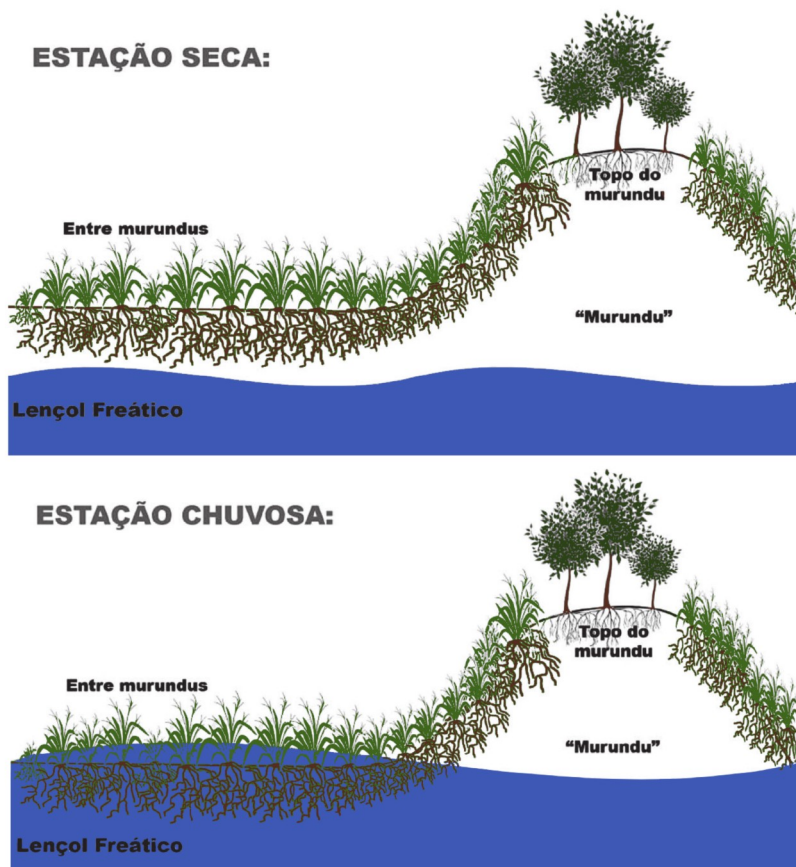
## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1. Campos de Murundus

A palavra “murundu” no vocabulário popular significa amontoado, monte ou montículo, o que o transforma em um termo bastante amplo. Além dos múltiplos usos da palavra, microfotografias similares existem em outras partes do mundo como os “*heuweltjies*” (pequenas colinas) na África do Sul e os *Hummocks*, amplamente distribuídos no ártico (Silva, 2025). Sendo assim, é importante definir do que se trata ao se referir a campos de murundus no presente trabalho.

Segundo Pires Júnior (2017), ao se falar sobre campos de murundus, trata-se de microtopografias circulares ou elípticas que podem ser encontradas em vertentes e cabeceiras de drenagem, áreas que estão sujeitas a alagamentos sazonais ou perenes seja pela água da chuva ou pela elevação do lençol freático, sendo amplamente distribuídos dentro do bioma Cerrado (Figura 01).

Figura 01: Oscilação esquemática do lençol freático nos murundus durante a estação seca e chuvosa.



Fonte: Paulino et al. (2015) p. 98, modificado pelo autor.

Durante a estação chuvosa os CdM se tornam saturados ou super saturados por água que é lentamente drenada durante a estação seca, isso confere a eles a condição de armazéns naturais de água no solo, abastecendo as nascentes e os corpos d'água de 1º ordem durante seu processo de esvaziamento, contribuindo para a perenização destes (De Castro Júnior; Girard; Nunes da Cunha, 2004).

A dinâmica de formação dos CdM ainda não é completamente compreendida, mas existem hipóteses que procuram explicar a sua existência. Há a hipótese de que no Brasil a formação dos CdM se daria devido à bioturbação, ou seja, a ação de seres vivos no solo modificando sua estrutura.

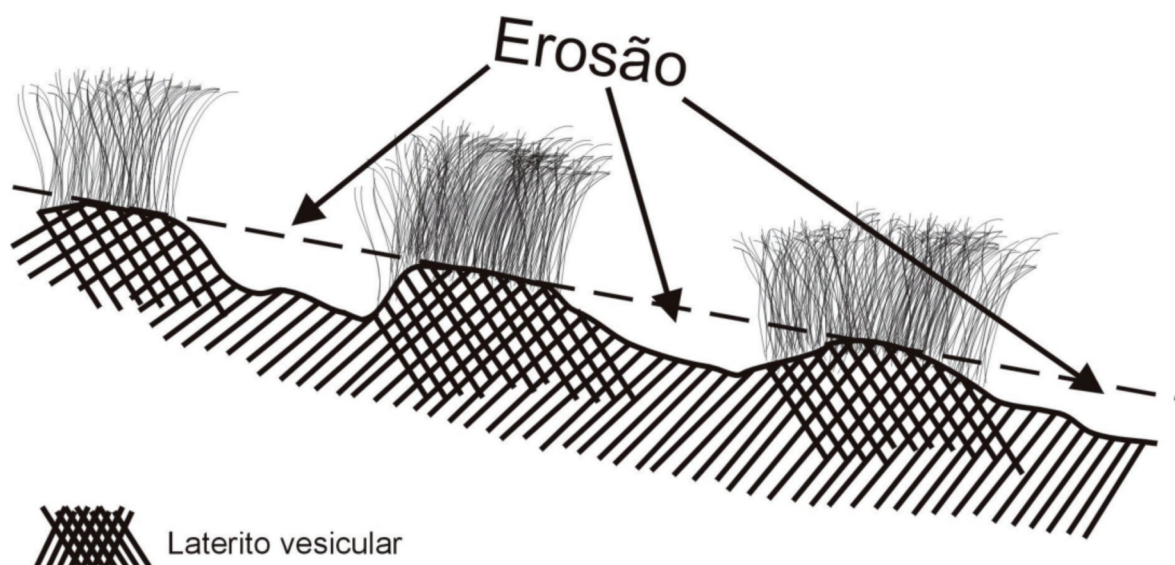
No caso dos murundus, a bioturbação se trataria da colonização sucessiva de áreas afetadas por saturação do solo por espécies de isoptera (cupins), inicialmente espécies mais tolerantes à saturação (*Armitermes cerradoensis*) formariam suas colônias na base de um tufo de capim durante a estação seca, depois da morte dessa colônia, a estrutura da térmita seguiria sendo incrementada por outra espécie, menos tolerante a solos úmidos, (*Cornitermes synderi*) que constrói colônias maiores e encontra refúgio na agora elevada estrutura do termiteiro anterior. Posteriormente à destruição dessa colônia, o sucessivo processo de colonização e degradação do material dos termiteiros na área culminaria na formação de murundus cada vez maiores, que em conjunto formam os campos (Mathews, 1977 *apud* Paulino *et al*, 2015).

Souza, Delabie e Sodré (2020) identificaram que no semiárido brasileiro existem fortes indícios da ação da bioturbação na formação de murundus, identificados pelo maior teor de argila, matéria orgânica e nutrientes nos montículos, que ocorreriam em decorrência da mobilização de materiais pelas térmitas. Também foram identificados canais e galerias escavados no murundu, algo que também foi encontrado por Confessor *et al* (2025) na Serra da Canastra.

Outra hipótese, apresentada por autores como Baptista *et al* (2013) é a de que os CdM seriam formados por processos de erosão diferencial e acúmulo de sedimentos, seguido de uma colonização vegetal posterior associada à presença de lateritas. A ação da água subterrânea, o escoamento superficial ou correntezas de inundação seriam predominantes na formação dos montículos, criando um ambiente hidromórfico onde o ferro no solo seria mobilizado e depositado na vertente formando plintita, que exposta a ambiente oxidante, se endureceria e formaria couraças lateríticas, essas teriam suas vesículas colonizadas por gramíneas, criando um ambiente de deposição de sedimentos. Com o tempo as áreas adjacentes a essas regiões de acúmulo de sedimento seriam erodidas, criando os murundus,

que seriam, residuais da superfície original (Figura 02).

Figura 02: Esquema da evolução dos CdM segundo a hipótese da erosão diferencial



Fonte: Baptista *et al* (2013).

Apesar de argumentos que sustentam ambas as hipóteses de formação dos murundus, elas também apresentam suas limitações, de tal maneira que a hipótese da bioturbação pelos cupins não explica bem os murundus que apresentarem características que se aproximam bastante dos solos adjacentes, enquanto a hipótese da erosão diferencial não seria capaz de explicar a formação de CdM em depressões fechadas, já que a água não tem para onde escoar nessas situações.

Independente das hipóteses de origem dos murundus, dois fatos ficam claros na literatura, o primeiro é a ampla colonização de termiteiros aos murundus e o segundo é a associação desses microrrelevos a áreas que apresentam por alguma razão drenagem deficiente e hidromorfismo temporário, condicionando a ocorrência de vegetação herbácea.

Estudos anteriores realizados no Parque Nacional da Serra da Canastra, indicam que os murundus na região apresentam extensas características indicativas de gênese relacionada à bioturbação (Silva, 2025), demonstrando textura mais fina que nas áreas adjacentes, indicando a seleção de material fino pelos cupins na construção de suas colônias. Os estudos de Santos e Confessor (2020) demonstram que a topografia e a posição dos CdM na paisagem exercem influência sobre sua estrutura interna, pois influenciam nas características dos materiais superficiais, mesmo quando muito intemperizados e homogeneizados.

O trabalho de Confessor (2023) constatou CdM no Chapadão do Diamante, parte do PSNC, ocorrendo nos ambientes transicionais entre solos mais profundos nas regiões de topo de vertente e as regiões de solos rasos a jusante. Segundo o autor, essa transição contribui para a saturação de água na região dos murundus, expulsando a pedofauna das áreas adjacentes aos montículos e contribuindo para seu aumento pela utilização preferencial destes para a construção das colônias de térmitas.

Confessor (2024), constatou, também em estudo no PNSC que os murundus apresentam solos muito friáveis, com taxas de infiltração que superaram a possibilidade de criação de fluxos superficiais de água, isso se dá devido à sua textura e à atividade biológica de diversas formas de vida, porém sobretudo os cupins, que cavam extensas redes de galerias nos morrotes. Encontrou também que há uma mudança abruptamente na textura do solo e na atividade da pedofauna, condicionando um aumento na susceptibilidade à erosão.

Os CdM também representam um importante papel no fornecimento de serviços ecossistêmicos onde ocorrem. Segundo Silva (2025), Os murundus são ecossistemas dinâmicos e segundo Pires Júnior (2017), além da contribuição para a disponibilidade hídrica, também contribuem para a estocagem de carbono e para a agregação de fauna e flora endêmicas, realidade ainda mais explícita no caso do PNSC, uma unidade de conservação de proteção integral.

#### 4.2. Evolução e Dinâmica da Paisagem Holocênica

Compreender o máximo possível da dinâmica climática do passado é de grande importância para o estudo geomorfológico. Feições como os CdM, que tem sua origem relacionada à presença de umidade no solo e à presença de cupins são um exemplo interessante, visto que ambos são fatores afetados pelas mudanças climáticas da transição Pleistoceno-Holoceno, e no geral precipitação e temperatura condicionam processos químicos e físicos e a cobertura vegetal, influenciando regimes morfogenéticos em várias escalas (Mial, 2006; Schumm, 2005 *apud* Barros *et al*, 2012).

Segundo Santos e Confessor (2020), datações realizadas por meio de Luminescência Opticamente Estimulada em murundus no Chapadão do Diamante, no PNSC, indicaram idades de  $950 \pm 145$  à profundidade de 30cm e  $2.500 \pm 390$  anos à profundidade de 60cm, indicando uma formação relativamente recente, certamente influenciada pelas dinâmicas climáticas e da evolução da paisagem no Holoceno.

No trabalho de Barros *et al*, 2012, são levantados cenários que interpretam as

paleopaisagens do estado de Minas Gerais, mas que seguem em aberto devido às lacunas de dados em regiões como o Triângulo Mineiro e o Norte de Minas.

Entre 16 e 11 mil anos antes do presente, teria ocorrido um aumento gradual da umidade acompanhada de temperaturas mais baixas em relação ao período anterior, porém a transição do Pleistoceno para o Holoceno teria sido mais árida que o presente, demarcada por uma dominância maior de formações vegetais campestres e queimadas frequentes, acompanhada da retração das formações florestais para regiões ripárias (Barros *et al*, 2012), esse fenômeno é Relacionado por Ledru, 1993 *apud* Barros *et al*, 2012 ao “Younger Dryas”.

O Younger Dryas foi um período de flutuação climática que acarretou em um resfriamento milenar, acompanhado de uma grande formação de calotas polares que bloquearam a liberação de calor oceânico, deslocaram os ventos alísios para o Sul e refletiram parte da radiação solar no planeta, afetando não somente as regiões de altas latitudes, mas também os trópicos (Broecker *et al*, 2010).

Esse período entre 12.9 e 11.7 mil anos atrás e seus catalisadores ainda não são plenamente compreendidos, porém é possível que períodos de resfriamento semelhantes sejam comuns em transições para períodos interglaciais, como evidenciado pelos outros 24 Eventos de Dansgaard-Oeschger identificados em núcleos de gelo islandeses (Stuiver and Grootes, 2000; Mangerud *et al.*, 2009 *apud* Broecker *et al*, 2010), mesmo assim não é impossível que eventos pontuais como a liberação de um enorme volume de água do paleolago Agassiz no oceano Atlântico tenham contribuído de alguma forma para o Younger Dryas (Broecker *et al*, 2010).

O final do período seco da transição Pleistoceno-Holoceno é variada, podendo ter se estendido até a aproximadamente 7 ka AP no Lago Aleixo (Enters *et al*, 2010 *apud* Barros *et al*, 2012) e a 3 ka AP em Lagoa dos Olhos (Oliveira, 1992 *apud* Barros *et al*, 2012).

Muitos dos trabalhos indicam um período úmido no início do Holoceno, com a redução do período seco que levou à expansão do gênero *Araucaria* e substituição dos campos por savanas tropicais, expansão das matas de galeria e redução no regime de incêndios (Behling, 1995, 2003 *apud* Barros *et al*, 2012). Esse período úmido teria sido sucedido por um evento seco entre 8,5 e 5,5 mil anos antes do presente em Salitre (Ledru, 1993; Ledru *et al.*, 1996 *apud* Barros *et al*, 2012), nesse período as queimadas também voltaram a ser mais frequentes.

Mesmo com variações ao redor do estado de Minas Gerais, nos últimos 7 mil anos, a região passou por um processo de aumento gradual da umidade até os padrões climáticos atuais (Barros *et al*, 2012), que constituem, no geral, o clima mais úmido do Holoceno.

Novamente é importante ressaltar as sobreposições nas estimativas para as mudanças na dinâmica climática das regiões estudadas, não somente pela variação climática regional, mas pela impossibilidade de gerar uma estimativa mais precisa em decorrência das lacunas de dados.

Tendo isso em mente e considerando as datações feitas por Santos e Confessor, 2020, Os CdM na Serra da Canastra se desenvolveram ao longo desse período onde, provavelmente, as condições climáticas foram relativamente semelhantes às atuais, porém não é possível afirmar categoricamente devido à lacuna de dados primários na área da serra e a ausência de um consenso acerca do assunto, também parcialmente causada pela esparsidade dos dados.

Rodrigues et al (2023), encontraram que em depósitos coluvionares no Chapadão do diamante a maioria dos materiais são de idade holocênica e defendem que esse processo predataria o processo da formação de murundus datado por Santos e Confessor (2020), já que seria necessário o acúmulo inicial de material para que este pudesse ser retrabalhado por bioturbação.

#### 4.3. História Natural dos Cupins

Os cupins (infraordem *Isoptera*) são insetos sociais, polimórficos e vivem em colônias de tamanho variado. São especialmente abundantes nas florestas e savanas tropicais, sendo que no Brasil são conhecidas cerca de 350 espécies, e o número total no país pode chegar a 600. Os cupins são notáveis pela sua capacidade de digerir celulose e pelo seu efeito nos processos de ciclagem de nutrientes, decomposição e formação de solos.

Segundo DeSouza e Canello (2010), os cupins não agem sozinhos no solo, mas fazem parte daquilo que talvez seja a comunidade biológica mais complexa, a biota do solo. Essa comunidade é composta por uma vasta gama de grupos funcionais, microssimbiontes, decompositores, transformadores elementais, engenheiros de ecossistema do solo, pestes e doenças do solo e micro reguladores.

Apesar de não agirem sós, os cupins são importantes constituintes da pedofauna que cavam túneis e movimentam material verticalmente no perfil durante o processo de construção de seus ninhos. Eles são engenheiros de ecossistemas, na medida que através de seu hábitos alimentares e de construção de ninhos (DeSouza e Canello, 2010). seus hábitos alimentares contribuem para a decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes no solo (DeSouza e Canello, 2010) e no processo de construção de suas colônias, alteram textura do solo buscando materiais argilosos em grandes profundidades. Os ninhos são feitos

de solo, saliva e material fecal em proporções variáveis (Constantino, 2024). Essas características foram identificadas em CdM na Serra da Canastra por Silva (2025).

Um ninho de cupins, chamado cupinzeiro ou termiteiro, pode ser desde um conjunto de túneis escavados em um pedaço de madeira até estruturas construídas complexas. Há espécies que constroem seus ninhos diretamente na madeira e espécies que os fazem independentes da fonte de alimentação. No solo, os ninhos podem ser difusos com túneis simples revestidos por material fecal; intermediários, compostos por um conjunto concentrado de túneis e galerias sem limites discretos; ou ninhos revestidos por uma parede contínua (Constantino, 2024).

Alguns ninhos epígeos ou de montículo (que se desenvolvem acima do solo) são divididos em partes definidas, uma camada externa dura, uma camada interna mais escura e com muitas células e uma camada vazia entre elas, outras espécies constroem ninhos de estrutura mais homogênea. muitos ninhos epígeos possuem sistemas de ventilação e podem ter ou não uma câmara definida onde o casal reprodutor fica, como indicado na Figura 03 (Constantino, 2024).



Figura 03: Estrutura de ninho epígeo, com destaque em vermelho para a camada rígida externa e em amarelo para a camada interna.



Fonte: O autor (2025).

O tipo de ninho mais perceptível na paisagem, que é também o mais relevante para a discussão acerca dos murundus na Serra da canastra é o epígeo, no qual os cupins movimentam esses grandes volumes de solo para a superfície, o que, segundo a hipótese da bioturbação, contribuiria com o material que constitui o montículo após sua destruição.

Sendo animais eussociais, os cupins vivem em sociedades complexas divididas em castas, a colônia típica é composta por rei e rainha (casal reprodutor), além de um grande número de indivíduos operários, soldados e aqueles imaturos, sendo que todas as castas podem ser compostas de machos e fêmeas (Constantino, 2024).

Uma colônia de cupins tem início com a união de um casal alado, que perde as asas e procura um ambiente propício para a construção do ninho, que normalmente é um buraco no chão ou um pedaço de madeira. Uma vez estabelecidos, eles se assentam e a rainha inicia a postura de ovos (Constantino, 2024).

As diversas espécies de cupins possuem dietas variadas, existindo aqueles xilófagos,



que se alimentam de madeira; geófagos, que se alimentam de matéria orgânica do solo e também ingerem solo mineral; intermediários, que se alimentam de matéria orgânica semi-decomposta; comedores de serrapilheira e ceifadores, além de especialistas e cultivadores de fungos, estes últimos, porém não possuem espécies representantes no Brasil (Constantino, 2024).

#### 4.4. Aspectos Morfométricos

A geomorfometria é área do conhecimento que procura quantificar e parametrizar a superfície terrestre e os elementos relacionados a ela, possibilitando o mapeamento, análise e modelagem de aspectos do meio físico que possuem relação direta com a variabilidade topográfica do ambiente (da Silva *et al*, 2017). Trata-se de uma ciência interdisciplinar que integra as geociências, a matemática, a estatística, a engenharia e as ciências da computação (Tobler, 2000; Pike *et al.* 2009 *apud* da Silva *et al*, 2017).

A Geomorfologia se destaca como aplicadora da morfometria dentro da Geografia Física, pois esta representa a dimensão componente do mapeamento geomorfológico juntamente à morfografia, a morfogênese, a morfocronologia, a morfodinâmica e a litologia (DRAMIS *et al.*, 2011 *apud* Silveira; Silveira, 2020).

Segundo Silva (2023), O grau de inclinação em relação ao plano horizontal é o que define a declividade de uma vertente, ou seja, quanto mais inclinada uma vertente, maior sua declividade, aspecto que interfere diretamente em sua propensão a sofrer erosão. A declividade de uma vertente influi no fluxo de água pela mesma, potencialmente influenciando a formação dos Cdm.

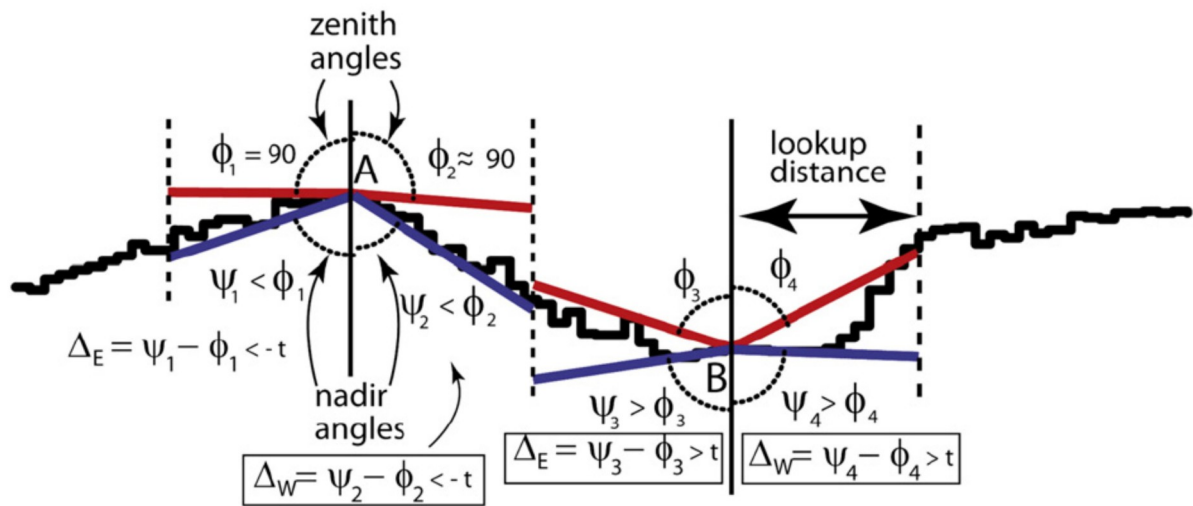
Os geomorphons são uma forma de classificação de formas de relevo não supervisionada baseada na utilização de reconhecimento de padrões em modelos digitais de elevação. O conceito de geomorphon (fenótipo geomorfológico) consiste em uma classificação simples de padrões ternários locais, baseados em três valores que indicam a posição da célula em relação a seus arredores e divididos em 1, 0 e -1 que identifica o arquétipo morfológico de uma célula no MDE (Jasiewicz, Stepinski, 2013).

A classificação, porém, não é feita baseada somente na relação entre a célula e seus vizinhos, mas de uma grandeza  $\Delta$  derivada da caracterização da superfície local usando o princípio da linha de visada, a análise é feita com base na relação entre ângulos de zenital, nadiral e respectivamente o terreno na linha de visada e uma linha hipotética resultante da reflexão do perfil de elevação em relação ao plano horizontal (Jasiewicz, Stepinski, 2013),

dessa maneira, ao se modificar a distância analisada a partir de um ponto (comprimento da linha de visada), a classificação de outro determinado ponto pode mudar.

Além da distância de busca, que define a linha de visada, o cálculo do geomorphon de uma célula de interesse se dá através da manipulação do limite de planicidade, um valor angular que define até onde o algoritmo classifica o relevo como plano.

Figura 04: Conceito de ângulos zenitais e nadirais e sua relação com a grandeza  $\Delta$ .

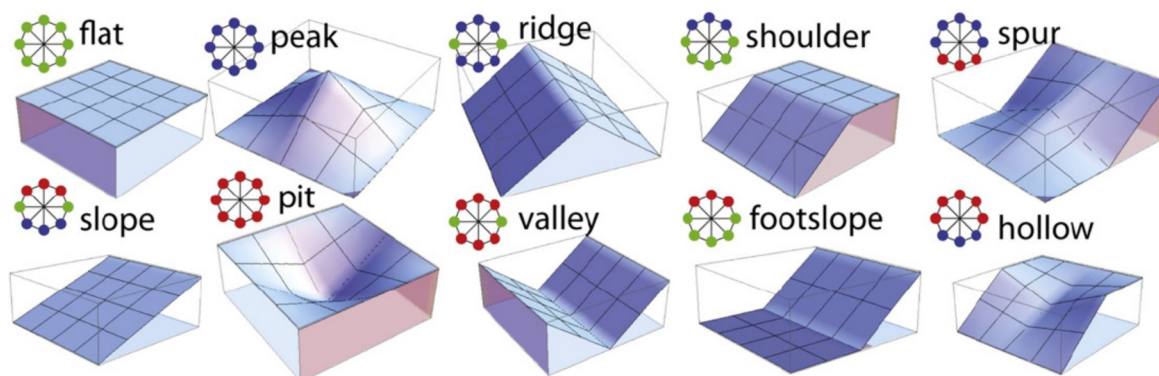


Fonte: Jasiewicz, Stepinski, 2013.

Há no total 498 geomorphons que representam todos os tipos morfológicos de relevo, desde os mais comuns até os mais raros e que dificilmente são encontrados em ambientes naturais. Sendo assim, para a representação dessa forma de classificação de relevo, utiliza-se das 10 formas mais comuns (Jasiewicz, Stepinski, 2013).

Os dez fenótipos geomorfológicos mais comuns na superfície terrestre e que foram utilizados na realização deste trabalho são: áreas planas (flat), pico (peak), crista(ridge), ressaltos (shoulder), crista secundária (spur), encosta (slope), fosso (pit), vale (valley), base de encosta (footslope) e escavado (hollow). Aquilo que divide os tipos de formas é o número de transições e a natureza das formas ternárias, ou seja, o posicionamento relativo da célula na paisagem, como ilustrado pela Figura 05.

Figura 05: Morfologias tridimensionais simbólicas e seus geomorphons correspondentes para as 10 formas mais comuns de relevo.



Fonte: Jasiewicz, Stepinski, 2013.

O uso dos geomorphons apresenta um grande potencial para reconhecer os ambientes onde os CdM se distribuem na paisagem, uma vez que na literatura eles são normalmente associados a áreas basicamente planas, mas no CdZ podem ser encontrados em ambientes muito mais variados.

O Índice de Rugosidade do Terreno foi criado inicialmente com enfoque na ecologia, para medir a heterogeneidade do terreno, sendo um método que consiste na medição da diferença entre os valores de uma célula no MDE e as suas 8 células vizinhas (Riley, 1999). Quanto maior a diferença entre os valores das células, mais rugoso é o terreno e quanto menor, mais nivelado. No escopo deste trabalho, este índice pode se tornar uma métrica indicadora, em conjunto com a declividade, quão movimentado é o relevo nos ambientes onde os CdM se desenvolvem.

O Índice Topográfico de Umidade é frequentemente utilizado como um indicador de umidade do solo, levando em consideração a declividade da área analisada e a área de contribuição hídrica de uma célula. O índice é geralmente extraído de um modelo digital de elevação, sendo uma ferramenta capaz de avaliar a umidade influenciada pela gravidade (Jianchao *et al*, 2010).

O algoritmo associa a área de contribuição de drenagem para determinada célula, pois quanto maior essa contribuição, teoricamente maior o potencial para o acúmulo de água à declividade, pois quanto mais plano o ambiente, mais lento o movimento da água e, por consequência, maior o acúmulo de umidade.

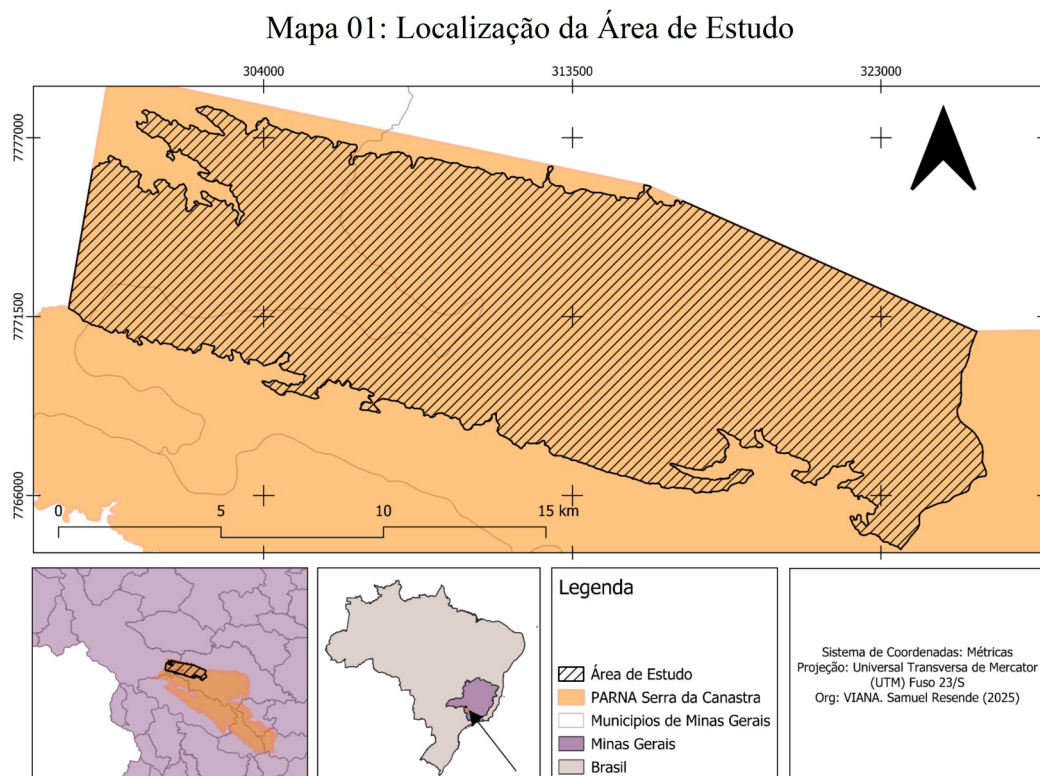
Sendo assim, a ideia é que o TWI possa contribuir para compreender a distribuição dos murundus, já que esses têm sua ocorrência associada à água no solo.



## 5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO/PESQUISA

### 5.1. Localização e Delimitação da Área

O Chapadão do Zagaia é a toponímia que designa a porção Ocidental da parcela regularizada do Parque Nacional da Serra da Canastra, abrangendo os municípios de Sacramento e São Roque de Minas, Minas Gerais. A área de estudo compreende entre as coordenadas  $-46.933375^{\circ}$  W,  $20.207866^{\circ}$  S e  $-46.661866^{\circ}$  -  $20.087442^{\circ}$  S.



Fonte: O autor (2025).

### 5.2. Contexto Geológico Regional

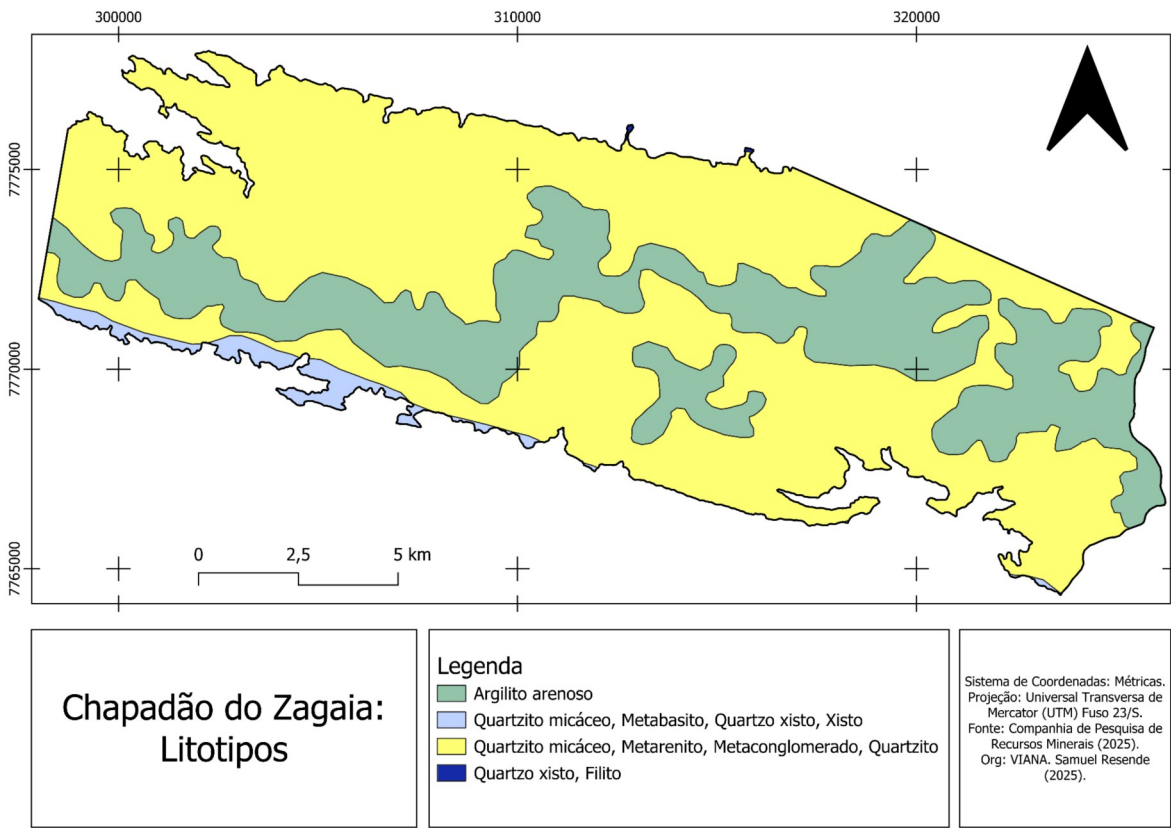
A região da Serra da Canastra é parte da Faixa de Dobramento Brasília, um sistema de cinturões de dobras e empurrões Neoproterozóicos, que se desenvolveram no contexto dos eventos colisionais que culminaram da amalgamação do supercontinente Rodínia ao final do Neoproterozóico (Almeida, 1977, *apud* Vasconcelos *et al*, 2013). A Faixa se encontra entre os Crátons do São Francisco, Amazônico e Paranapanema (Uhlein *et al*, 2013), sendo na região meridional, em contato com o Paranapanema onde se encontra a Serra da Canastra.

A Faixa Brasília por sua vez, constitui parte da Província Geológica Tocantins, O cinturão se encontra na porção oriental da Província Tocantins, com orientação no sentido N -

S e estendendo-se do estado do Tocantins até o oeste mineiro. A litologia da área da Faixa de Dobramento é caracterizada por associações de rochas metassedimentares de margem passiva e metavulcanossedimentares, deformadas em regime progressivo durante a colagem Brasiliana (Freitas-Silva, 1996; Fonseca *et al.* 1995, *apud* Bizzi *et al.*, 2003), com desenvolvimento de sistemas de dobras, empurrões e imbricamentos com vergência para o Cráton São Francisco ( Bizzi *et al.* 2003).

A área do Chapadão do Zagaia em si, além de ser composta por Quartzitos micáceos, Metarenitos, Metaconglomerados e Quartzito do Grupo Canastra, frutos do metamorfismo no ambiente de formação da faixa dobrada, possui também parcelas recobertas por coberturas sedimentares que foram classificadas pelo mapeamento feito pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) como parte da Formação Marília, estes últimos estão associados às partes mais elevadas da paisagem, sendo remanescente da Bacia Sedimentar do Paraná.

Mapa 02: Litologia da Área de Estudo (Escala 1:1.000.000).



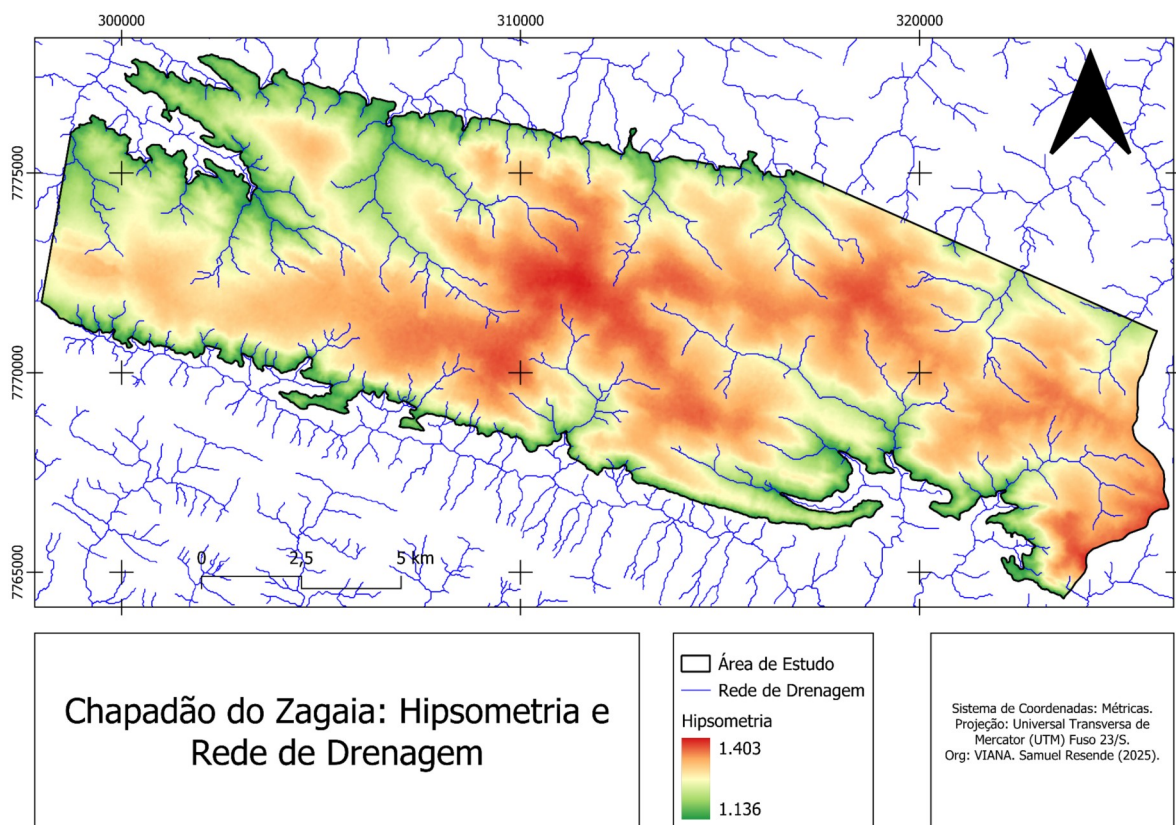
Fonte: O autor (2025). Adaptado da CPRM (2020).



### 5.3. Relevo

Segundo Rodrigues, Augustin e Nazar (2023), a Serra da Canastra se enquadra no sistema geomorfológico de Montanhas e Serras sobre substratos rochosos predominantemente dobrados, ocupando porção altimétrica mais elevada que a de todos os seus vizinhos. O Chapadão do Zagaia especificamente compreende uma amplitude altimétrica de 267 metros, chegando a altitudes de mais de 1.400 metros (Mapa 03) sendo circundado pelo Planalto de Tapira, o Planalto do Alto São Francisco, o Planalto Dissecado do Triângulo Mineiro e, claro, pelas demais áreas contíguas da Serra.

Mapa 03: Hipsometria e rede de drenagem da área de estudo

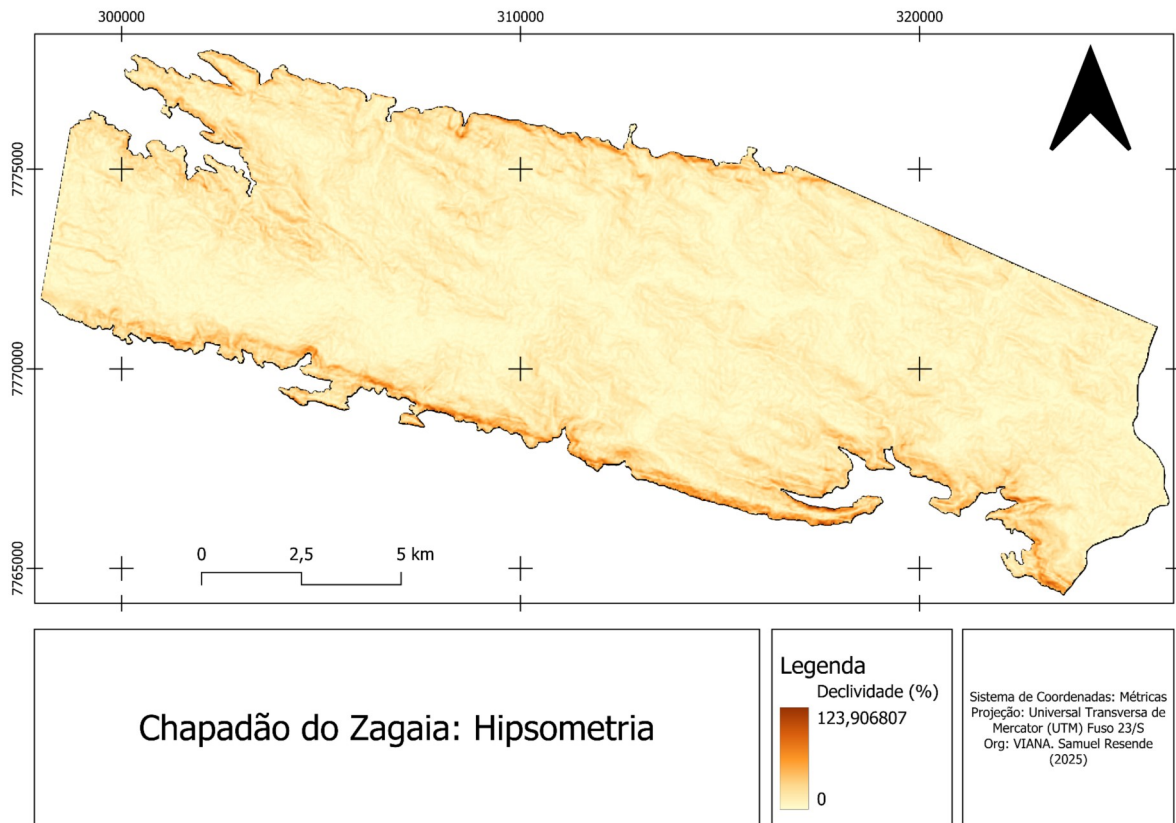


Fonte: O autor (2025).

A área de estudo apresenta características de declividade bastante interessantes. Apesar de fazer parte do conjunto de Montanhas e Serras, boa parte de seu território é constituído por áreas relativamente pouco declivosas, de tal maneira que, regiões onde o relevo é mais acidentado se concentram próximas das bordas e são limitadas por escarpas estruturais e cristas alinhadas formadas pela dissecação da rede de drenagem nas porções

Norte e Sul, na porção Leste encontra-se o Chapadão do Diamante enquanto a Oeste o Chapadão do Zagaia se estende, porém fora dos limites do parque.

Mapa 04: Declividade da área de estudo

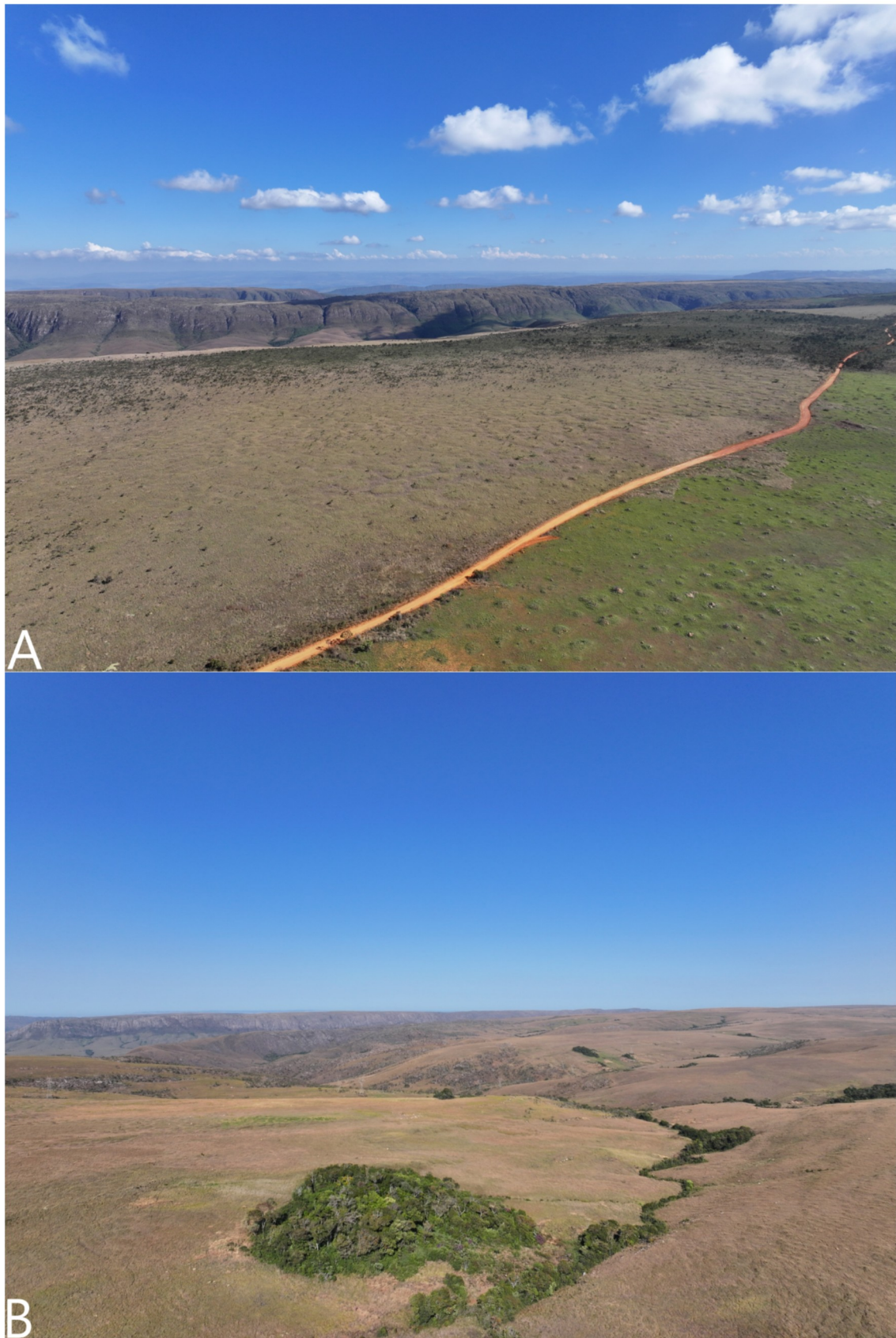


Fonte: O autor (2025).

Como é possível visualizar no Mapa 04, o Chapadão do Zagaia pode ser dividido do ponto de vista da inclinação de suas vertentes, a grosso modo em uma ampla cimeira pouco declivosa e em escarpas estruturais que definem seus limites Norte e Sul (Figura 06-A). Há também áreas no noroeste e sudeste da área que representam uma transição mais suave para as cercanias mais rebaixadas (Figura 06-B).



Figura 06: Bordas do Chapadão do Zagaia: Escarpa voltada para o Sul (A); Área dissecada voltada para o Sul (B).



Fonte: O autor (2025).



#### 5.4. Hidrografia

No CdZ estão presentes cabeceiras das bacias hidrográficas do Rio Grande e do Rio Paranaíba, sendo o ponto de origem do Rio Araguari. A drenagem consiste majoritariamente de canais em vales encaixados em V e que apresentam forte controle estrutural (Mapa 03) proveniente dos dobramentos e falhamentos na litologia abaixo, anomalias de drenagem como cotovelos são comuns.

São nas áreas de nascentes associadas aos cursos d'água que os CdM se desenvolvem, sendo essencial a sua compreensão mais aprofundada para entender melhor a dinâmica da água nesse ambiente tão vital para o abastecimento hídrico da região.

#### 5.5. Clima e Vegetação

O clima da área é do tipo tropical sazonal, típico do Brasil Central, com estação chuvosa que se estende de novembro a março e seca que se estende de abril a outubro. Os dados da estação meteorológica A-516\_Passos-MG disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia, que é a mais próxima da área de estudo e que está localizada a aproximadamente 60km de distância e a 781,70 metros acima do nível do mar, demonstram uma temperatura média para o mês de janeiro de 22,95°C, e de 18,23°C para o mês de julho. A precipitação média anual foi de 1346,1 mm (dados de 2007 a 2023). É essencial ressaltar que esses dados não correspondem à realidade precisa da área de estudo, mas representam uma aproximação devido à ausência de estações meteorológicas dentro da mesma.

O regime de precipitações na Serra da Canastra é fortemente influenciado pela ZCAS, que exerce influência em uma grande área da América do Sul, trazendo altos índices pluviométricos para as áreas onde atua, principalmente no final da primavera e no verão (Grimm, 2011 *apud* Quadro *et al*, 2012). O fenômeno é caracterizado por uma faixa de nebulosidade persistente orientada no sentido Noroeste-Sudeste desde o centro-sul da Amazônia em direção ao Oceano Atlântico sudoeste, formando o Sistema de Monções da América do Sul (Quadro *et al*, 2012).

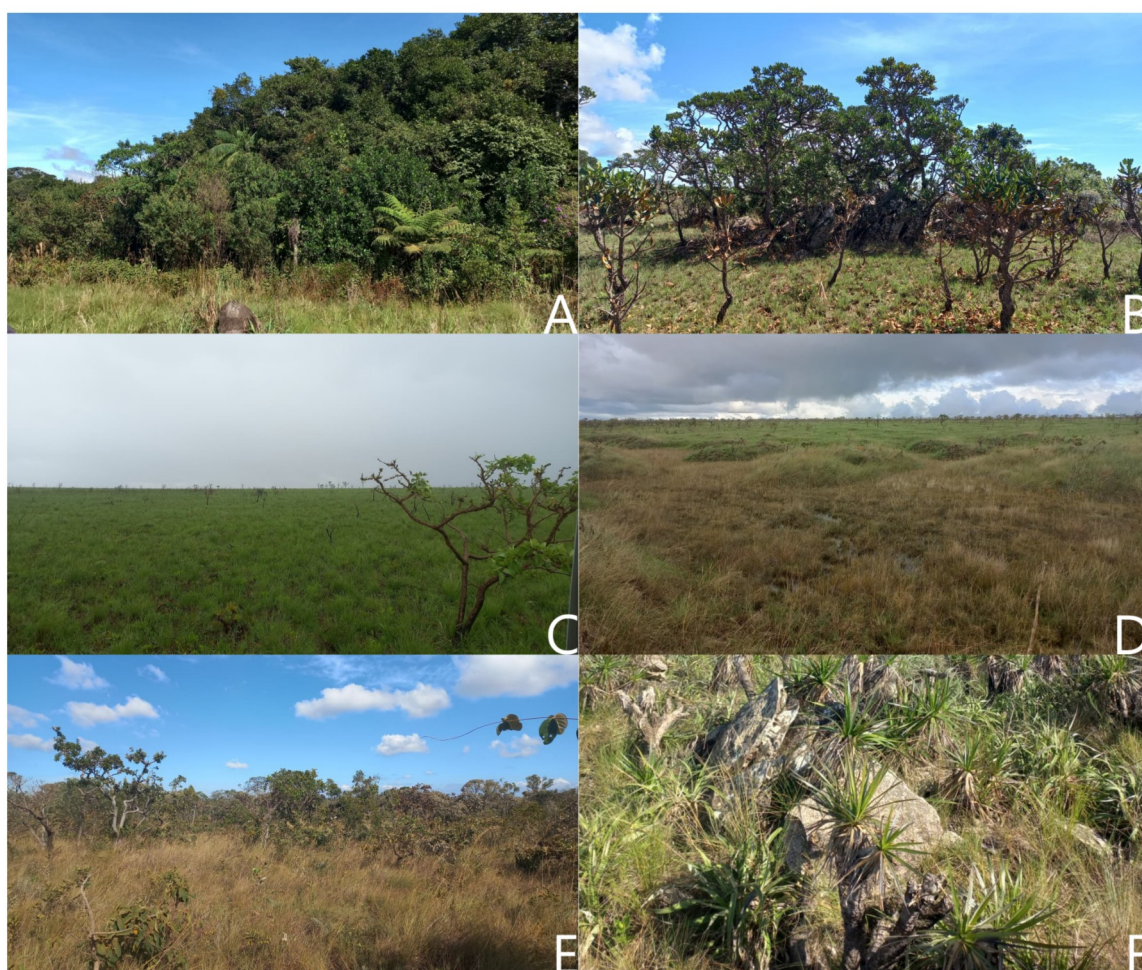
É esse regime sazonal que confere à Serra da Canastra a abundância de CdM que ela possui, já que é independente da vertente de pensamento que melhor os descreve na região, a presença de água e a oscilação no nível freático são fatores fundamentais para a sua formação.

Seguindo a classificação proposta por Ribeiro e Walter (2008), as formações vegetacionais predominantes no Chapadão do Zagaia são campestres, sendo eles campos limpos, campos limpos com murundus, campos sujos, campos sujos com murundus e nas

áreas onde ocorrem afloramentos de quartzito, campos rupestres. Também há ocorrência de manchas de cerrados sensu stricto e formação de matas de galeria inundáveis e não inundáveis ao redor de nascentes e cursos d'água. Por fim podem ser encontrados em alguns locais, formações arbóreas associadas a afloramentos rochosos (Figura 07).

Essa diversidade de formações vegetacionais confere à Serra da Canastra uma elevada biodiversidade e alto grau de endemismo, tornando-a um ambiente de vital proteção para a conservação da biodiversidade. A presença e diversidade de formações é condicionada pelas características do substrato e da umidade, além do regime de distúrbios, sendo o fogo o principal agente de abertura da vegetação.

Figura 07: Fitofisionomias encontradas no Chapadão do Zagaia: mata de galeria (A), formação arbórea associada a afloramento rochoso (B), campo sujo (C), campo limpo com murundus (D), cerrado típico (E), campo rupestre (F).



Fonte: O autor (2025).

Na Figura 08 é possível identificar, na paisagem, boa parte dos tipos de vegetação encontrados no Chapadão do Zagaia e na Serra da Canastra como um todo, no canto superior esquerdo está uma mancha de cerrado sensu stricto rodeado de campos limpos, que ocupam a maior parte da imagem, inclusive com ocorrência de campos limpos com murundus. Também é possível visualizar a mata de galeria das nascentes do Córrego do Veadinho e uma porção de vegetação rupestre associada aos limites do CdZ e às escarpas da Serra das Sete Voltas ao fundo.



Figura 08: Vegetação na Serra da Canastra, visão para o Sul.



Fonte: O autor (2025)

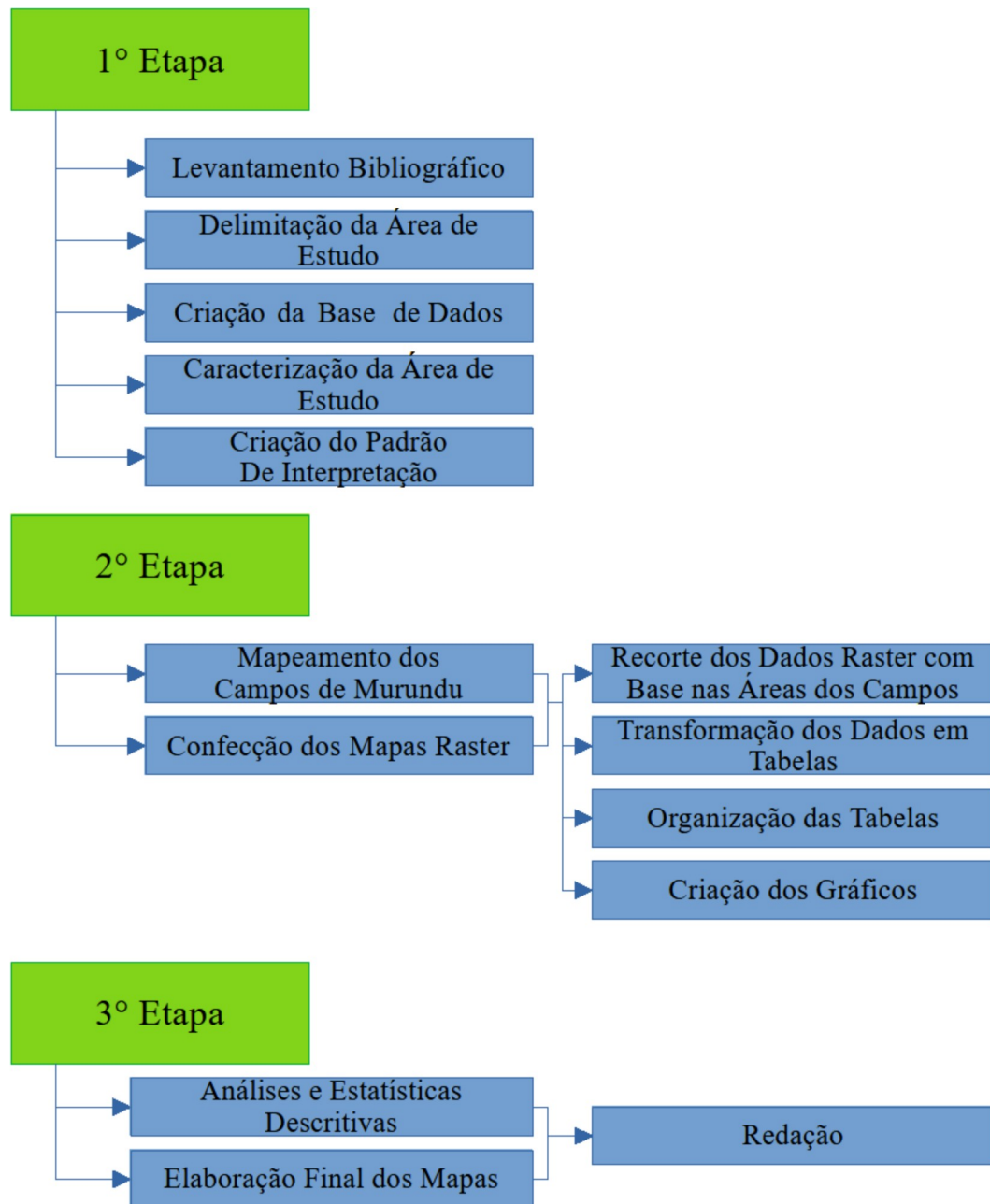
## **6. METODOLOGIA**

Os procedimentos deste trabalho foram subdivididos em três etapas para facilitar sua realização. Inicialmente passou-se por um estágio de levantamento de dados, revisão bibliográfica, criação do banco de dados para a confecção dos mapas e a criação do padrão visual de interpretação utilizado para mapear os CdM e delimitação e caracterização da área de estudo.

A segunda etapa se constituiu nos mapeamentos em si, tanto a delimitação das áreas ocupadas pelos CdM quanto a criação dos mapas Raster com os dados espaciais relevantes, sequencialmente os dados Raster foram recortados utilizando como molde a delimitação dos CdM. Os dados resultantes foram transformados em tabelas e estas foram usadas para a criação de gráficos.

Na terceira e última etapa os dados finais foram analisados do ponto de vista estatístico descritivo e os mapas finais foram elaborados. Com toda a estrutura do trabalho finalizada passou-se para a etapa de redação.

Figura 09: Fluxograma de trabalho.



Fonte: O autor (2025).

### 6.1. 1º Etapa

A base cartográfica utilizada no trabalho foi constituída de arquivos matriciais e vetoriais. O Modelo Digital de Elevação utilizado foi adquirido através site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), tratando-se de um modelo SRTM com resolução espacial de 1 arco segundo (30m).

O arquivo shapefile com os limites do PNSC que foi utilizado para delimitar a área de

estudo foi adquirido no portal do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO).

Para delimitar a área de estudo, foram utilizados parâmetros morfométricos além dos limites do PNSC. O primeiro parâmetro foi o polígono que delimita o PNSC, já que o estudo não se estende a áreas particulares fora do parque devido às dificuldades práticas de estudos posteriores fora da Unidade de Conservação.

O interflúvio que divide a porção da Serra da Canastra que drena para a bacia do Paraná da porção que drena para a Bacia do São Francisco foi utilizado para definir o limite entre o Chapadão do Zagaia e o Chapadão do Diamante. O restante da extensão da área de estudo foi definido pela isolinha de 1140 m de altitude, que coincide com as escarpas estruturais que limitam os platôs da Serra da Canastra nessa área.

Uma vez com a área de estudo definida, partiu-se então para a criação de um padrão visual de interpretação a fim de possibilitar um mapeamento das áreas onde ocorrem os CdM. Para isso, as imagens de satélite foram analisadas a fim de encontrar feições representativas dos CdM. Os tipos de montículo individual interpretados tiveram sua existência comprovada por meio de levantamento de campo realizado através de sobrevoo por aeronave remotamente pilotada (ARP).

Para analisar a densidade de montículos dentro de cada tipo de CdM identificado, foram selecionados quadrantes de área de  $10.000^2$  para cada um, procurando selecionar áreas representativas

Os padrões encontrados nas imagens de satélite do Google Earth ® e a realidade no campo permitiram a caracterização de três tipos distintos que se enquadram como CdM. O primeiro tipo identificado, nomeado como circulares ou elípticos de médio porte consiste em uma fisionomia de campos com predominância de murundus aproximadamente circulares ou elípticos, formato bem definido, com área média de  $56,74\text{m}^2$ , variando aproximadamente de 30 a  $110\text{m}^2$  e densidade aproximada de 105 montículos por ha.

A segunda fisionomia de CdM identificada, de murundus circulares ou elípticos de pequeno porte também consiste em predominância de murundus aproximadamente circulares, estes porém apresentam dimensões bastante reduzidas, com área média de  $4,06\text{m}^2$ , variando desde aproximadamente 1,98 até  $15,94\text{m}^2$  e densidade aproximada de 136 montículos por ha.

A terceira fisionomia identificada, de murundus irregulares ou alongados de grande porte foi caracterizada pela predominância de murundus de formatos irregulares ou alongados, área média de  $173,65\text{m}^2$ , amplitude de 87,77 a  $601,41\text{m}^2$  e densidade aproximada de 66 montículos por ha.

Uma vez com os tipos de murundus identificados, 50 montículos de cada tipo foram selecionados aleatoriamente e tiveram suas áreas poligonizadas e medidas utilizando a calculadora raster, no Qgis. Posteriormente, utilizando o “libreoffice calc” foram identificados os valores limítrofes, ou seja, maiores e menores, além de calcular a área média a fim de melhor caracterizar cada um deles.

## 6.2. 2º Etapa

Utilizando o padrão visual de interpretação, os CdM foram mapeados e, após mapeamento inicial genérico, isto é, sem a subdivisão dos tipos de CdM, feito através da função “adicionar polígono”, parte das ferramentas de vetorização avançadas, os tipos de campo foram subsequentemente subdivididos de acordo com o tipo de montículo predominante na área utilizando a função “quebrar feições”.

Utilizando o Modelo Digital de Elevação, foram criados os mapas que forneceram de fato os dados a serem analisados do ponto de vista morfométrico. O mapa hipsométrico foi confeccionado através da simples alteração da simbologia do modelo digital de elevação a fim de facilitar a visualização. Isso foi realizado alterando a representação do arquivo TIFF de “banda simples cinza” para “banda simples falsa-cor” dentro das propriedades da camada.

O mapa de declividade foi gerado através do algoritmo “declividade” parte das ferramentas de análise de arquivos raster no QGIS, a equação utilizada foi a de Horn.

Os geomorphons foram gerados utilizando o algoritmo “r.geomorphons” fornecido pelos complementos GRASS, dentro do Qgis, utilizando os parâmetros de raio de procura exterior de 20 células, o raio de procura interior de 2 células e o limite de planicidade de 3. Esses parâmetros geraram o resultado mais satisfatório da classificação da área de estudo como um todo, refletindo as características das vertentes de forma mais verossímil e com menor quantidade de ruídos (pequenos fragmentos de um tipo de forma dentro de outra maior ou descontinuidade de formas que são contínuas). É importante frisar que estas foram as especificações mais apropriadas para as condições deste trabalho, e não representam necessariamente, diretriz universal para a criação de um mapa de formas de relevo bem representativo.

O mapa de Índice topográfico de umidade (TWI) foi confeccionado através da criação de um modelo digital de elevação hidrológicamente consistido, utilizando o algoritmo “r.fill.dir” disponível no Qgis através de complementos GRASS, posteriormente, utilizando o algoritmo “r.topidx”, foi gerado o TWI.

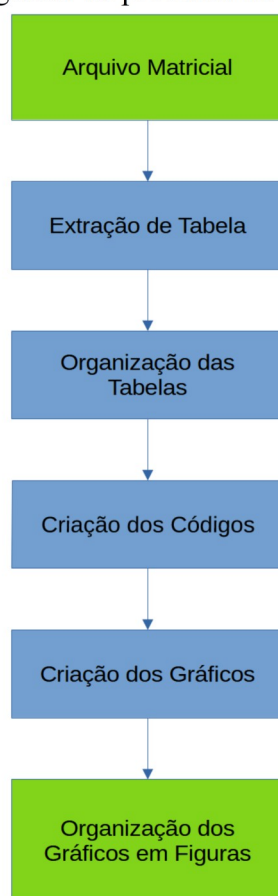


O Índice de Rugosidade do Terreno foi gerado através da utilização do algoritmo “Índice de Rugosidade do Terreno (TRI)” disponível na a ferramenta de análise de arquivos raster do QGIS.

A rede de drenagem da área de estudo foi gerada usando o MDE hidrologicamente consistido. Através do algoritmo “r.streamextract” para extrair a rede de drenagem e em seguida o algoritmo “r.to.vect” para vetorizar a rede.

Depois de criar os mapas matriciais, estes foram recortados utilizando o algoritmo “recortar raster pela camada de máscara”, tanto para a área total dos CdM, quanto para as áreas ocupadas por cada um dos três tipos identificados. Esses arquivos recortados foram então transformados em tabelas utilizando o algoritmo “Reporta camada raster de valor único”. As tabelas foram utilizadas para alimentar um código feito por meio da linguagem de programação Python (vide anexo), para a criação de gráficos que representem os dados da pesquisa. Foi criado um código para a representação de histogramas ponderados pela área ocupada por cada valor morfométrico, com indicação de densidade dos dados, primeiro e terceiro quartil, média e mediana ponderadas.

Figura 10: Fluxograma do processo de criação dos gráficos



Fonte: O autor (2025).

### 6.3. 3º Etapa

Com todos os dados prontos para análise, partiu-se para a elaboração dos mapas finais e as análises estatísticas descritivas baseadas nos gráficos, relacionando-as com as informações disponibilizadas nos mapas. Foi avaliada a concentração dos dados e sua distribuição baseada na assimetria dos gráficos, procurou-se então relacionar os resultados às informações graficamente espacializadas pelos diversos gráficos e ao arcabouço teórico levantado criado nos itens 4 e 5 deste trabalho.

## 7. RESULTADOS

### 7.1. Identificação dos Campos de Murundus

O mapeamento das áreas ocupadas por CdM utilizando o padrão visual de interpretação, permitiu identificar sua localização e possibilitou as etapas seguintes do trabalho, além de fornecer várias percepções quando aliadas às imagens colhidas em campo.

Os CdM ocupam uma área de 28,94 km<sup>2</sup>, 14,75% dos 196,2 km<sup>2</sup> da área de estudo, uma porção considerável, sendo que os campos com predominância dos montículos circulares ou elípticos de médio porte foram identificados como os mais representados, ocupando mais da metade de toda a extensão dos CdM em geral (Tabela 01). Essa predominância dos CdM circulares ou elípticos de médio porte pode ser observada no Mapa 05.

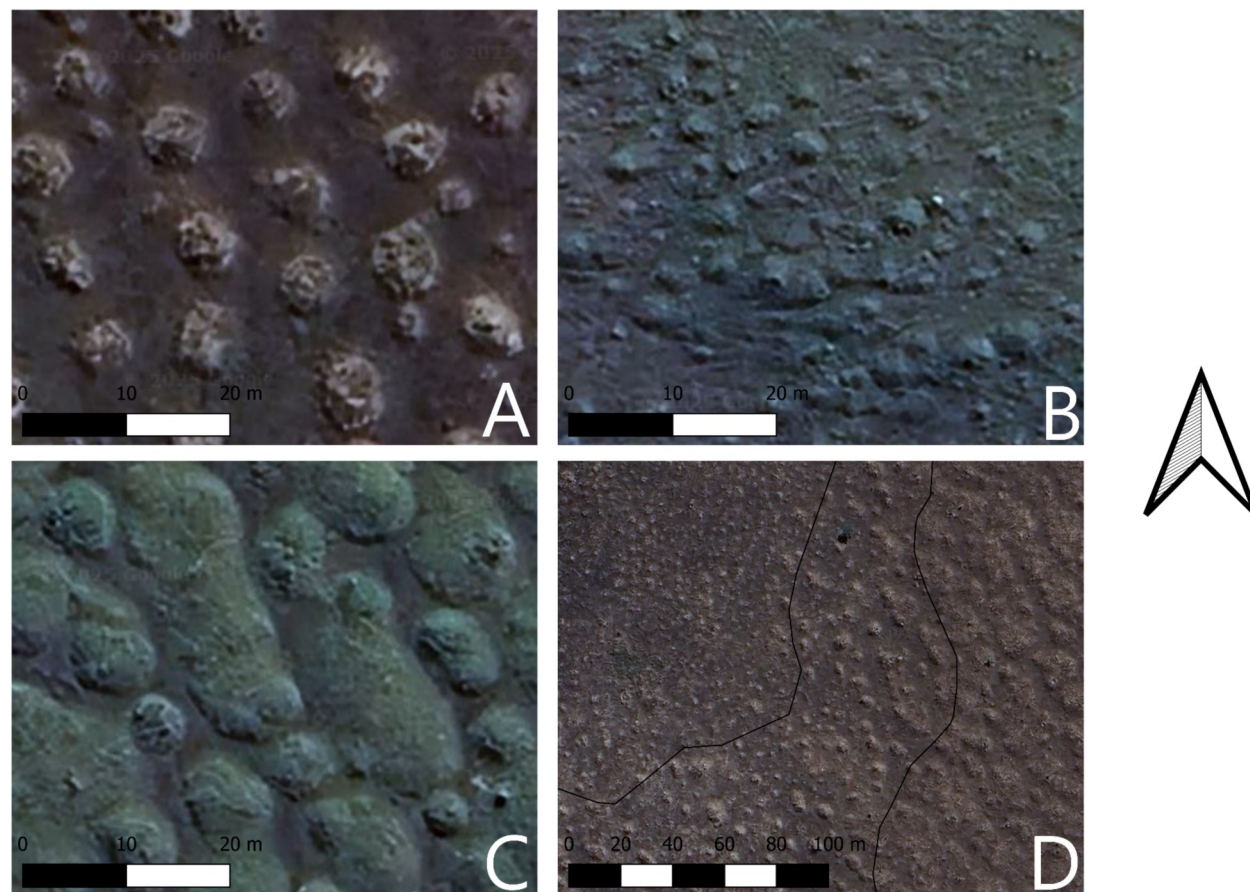
É importante frisar que a classificação foi feita considerando a classe de montículo mais representativa em determinada área, já que frequentemente os diferentes tipos podem ser encontrados juntos em maior ou menor proporção. Desta maneira, um CdM circular ou elíptico de médio porte não necessariamente consiste somente de montículos desse tipo, mas uma dominância destes sobre eventuais montículos circulares ou elípticos de pequeno porte na mesma área, por exemplo. As feições de cada tipo podem ser observadas na Figura 11.

Tabela 01: Área ocupada pelos campos de murundus no Chapadão do Zagaia

	Área/km <sup>2</sup>	%
Tipo1	15,79	54,55
Tipo2	9,55	33,00
Tipo3	3,6	12,45
Campos totais	28,94	100

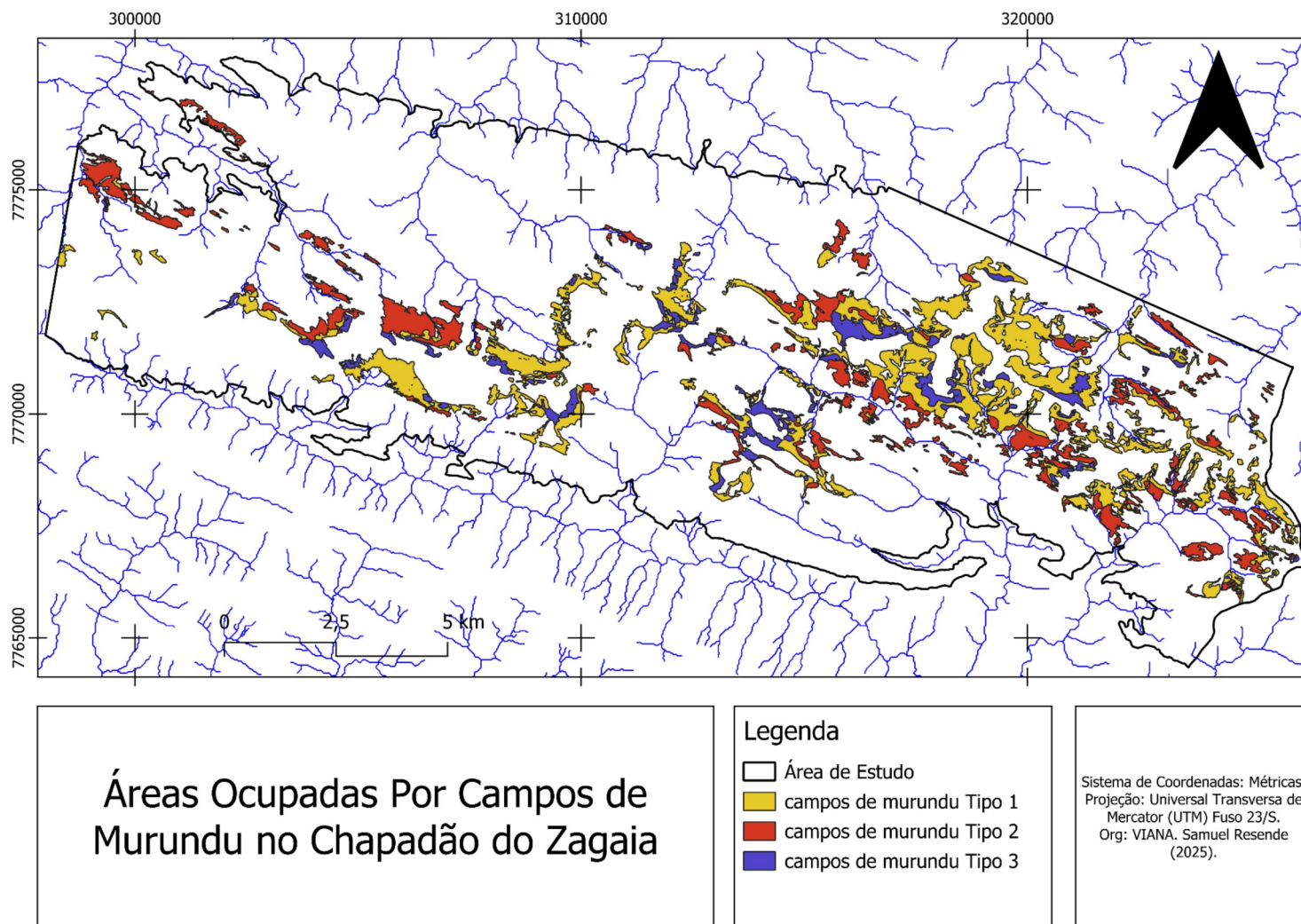
Fonte: O autor (2025).

Figura 11: Feições dos 3 tipos de campo de murundu identificados nas imagens de satélite: Campo de murundus circulares ou elípticos de médio porte (A); Campo de murundus circulares ou elípticos de pequeno porte (B); Campo de murundus irregulares ou alongados de grande porte (C); Área de contato entre os 3 tipos (D).



Fonte: Google Earth ® (2025).

Mapa 05: Áreas ocupadas por CdM no Chapadão do Zagaia



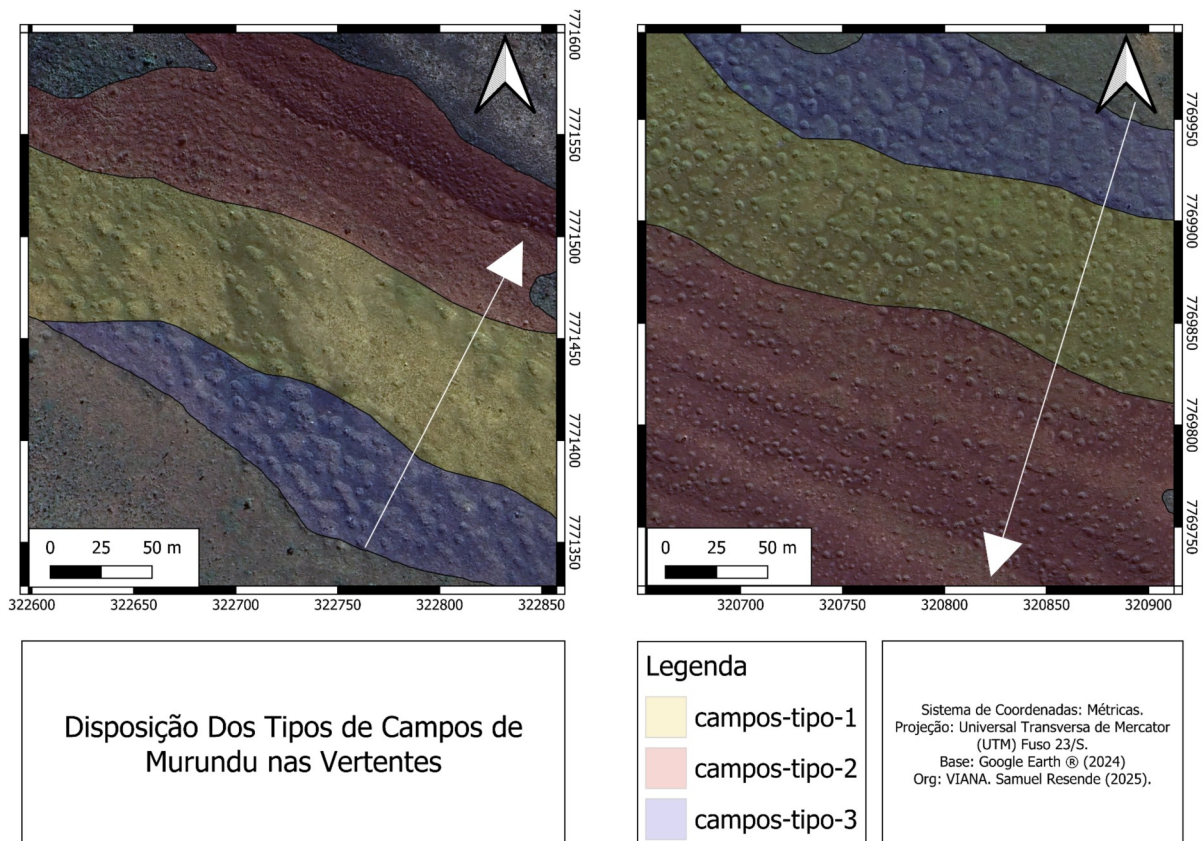
Fonte: O autor (2025)



A distribuição espacial dos campos apresentou uma concentração maior na porção oriental da área de estudo, com uma ocorrência esparsa na região noroeste. Nessa porção noroeste há uma predominância de campos de murundus circulares ou elípticos de pequeno porte, enquanto na porção oriental predominam os circulares ou elípticos de médio porte. Os CdM irregulares ou alongados de grande porte, os de menor ocorrência na área, encontram-se basicamente nas bordas de campos maiores, sobretudo as extremidades na direção dos interflúvios, sendo raramente identificados associados a fundos de vale, não existindo manchas que consistam exclusivamente neles, diferente dos outros dois tipos.

A nível de vertente, quando se encontra uma onde todos os 3 tipos foram identificados, a sua disposição é de uma faixa do tipo irregular ou alongado de grande porte mais próxima do interflúvio, seguida de faixa de circulares ou elípticos de médio porte no terço médio da vertente e por último uma faixa de CdM circulares ou elípticos de pequeno porte próxima do fundo do vale (Mapa 06), mas é importante frisar que nem sempre foi possível encontrar todos os tipos e nem sempre sua disposição na vertente é de tal maneira que facilite a visualização.

Mapa 06: Vertentes ocupadas por faixas sucessivas de diferentes tipos de CdM. Orientação da vertente representada pelas setas.



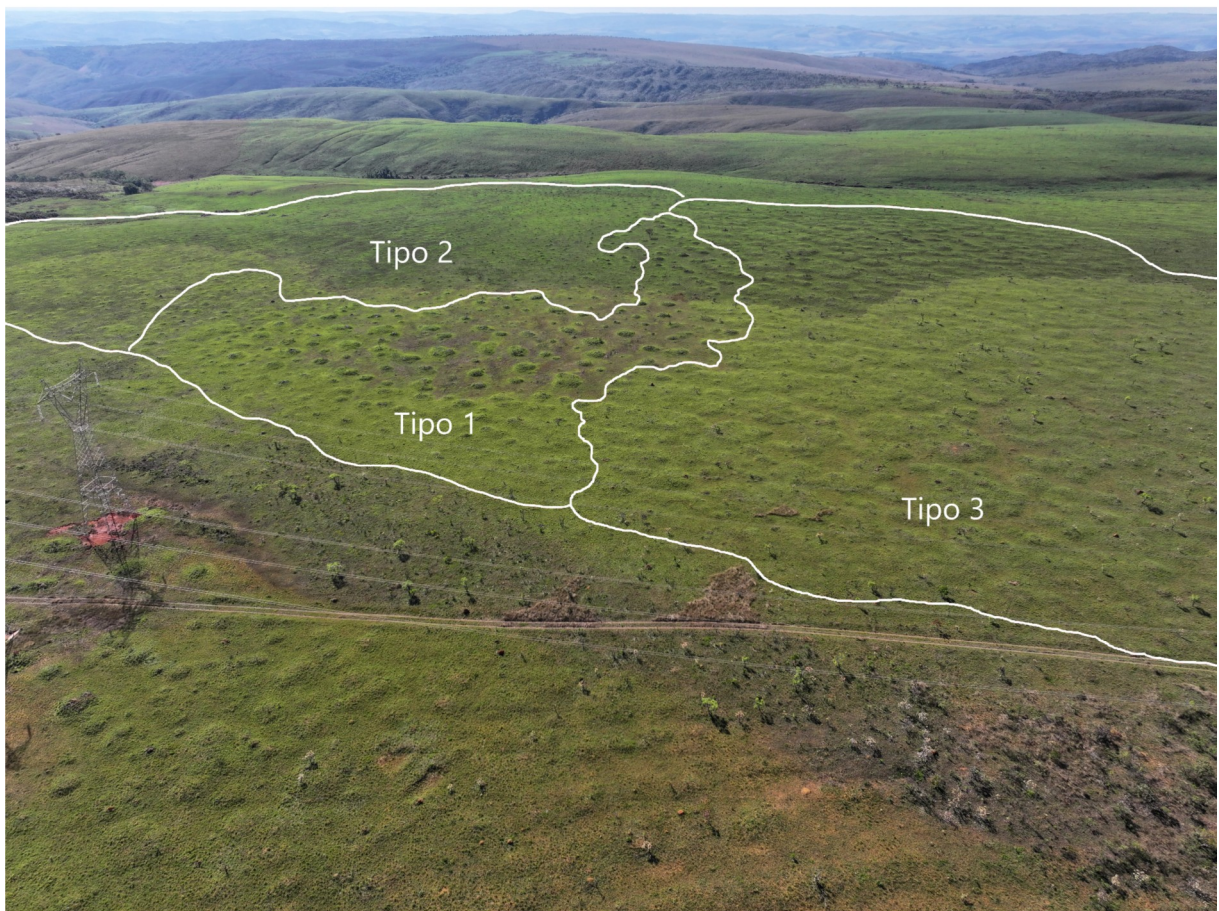


Fonte: O autor (2025).

Não foi possível enumerar os CdM de forma satisfatória, pois nessa escala de mapeamento é possível identificá-los como formas bastante irregulares e que frequentemente se encadeiam, muitas vezes por cordões estreitos, acompanhando cursos d'água, impossibilitando inferir onde um termina e outro se inicia.

Em relação às divisórias entre cada tipo de CdM, não foram encontradas áreas transicionais consideráveis, como demonstrado na Figura 12, que mostra uma área próxima à portaria 3 do PNSC, onde é possível observar ao fundo, um CdM circulares ou elípticos de pequeno porte, à direita um CdM irregulares ou alongados de grande porte e ao centro um CdM circulares ou elípticos de médio porte, ao analisar a imagem é possível perceber essa mudança abrupta.

Figura 12: Campos de murundus no Chapadão do Zagaia, visada para o Norte - jun. 2025.



Fonte: O autor (2025)

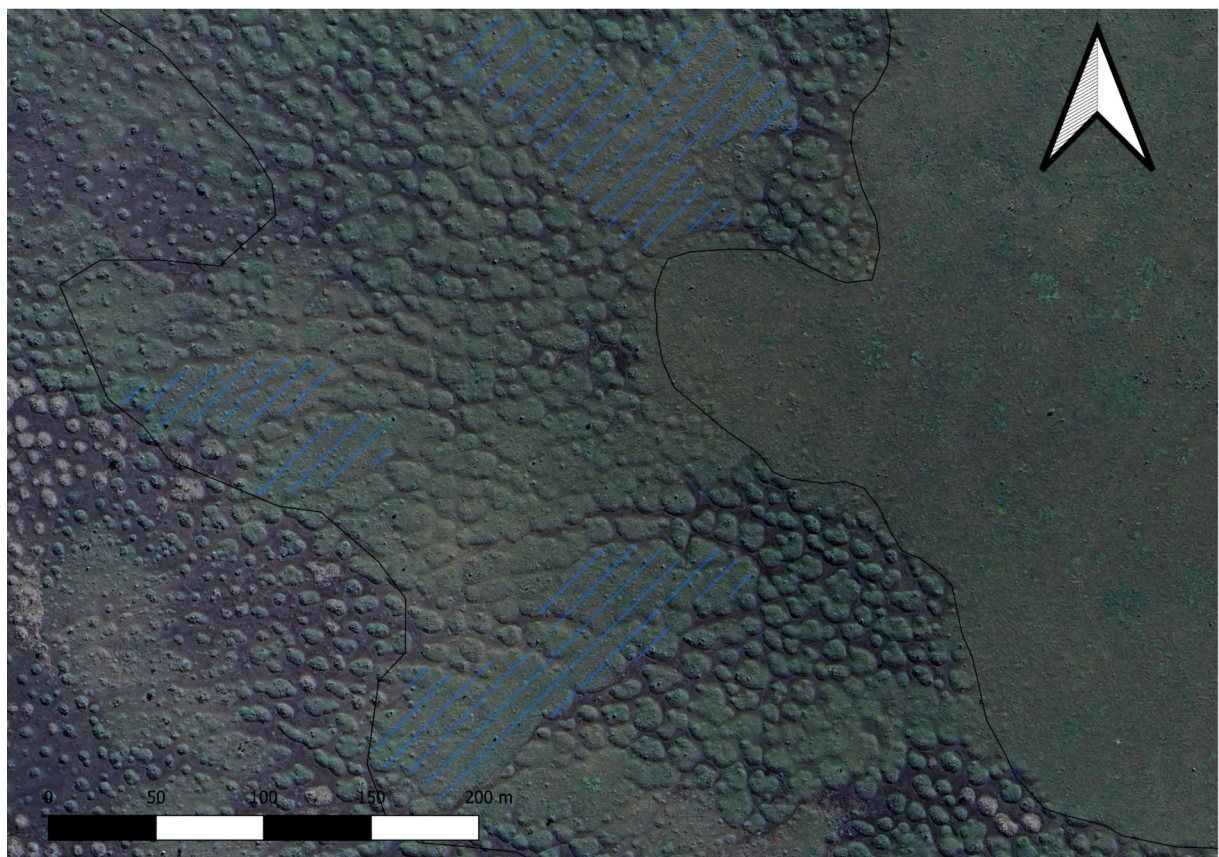


Essa mudança abrupta entre os diferentes tipos de murundu pode inferir influências diferenciadas na gênese e evolução dos diferentes tipos de montículo, uma importância maior da bioturbação ou da erosão diferencial aliadas à ação do tempo em vez de feições sujeitas a dinâmicas semelhantes e meramente em diferentes estágios de evolução.

A fotointerpretação permitiu identificar, sobretudo em áreas de CdM irregulares ou alongados de grande porte, enclaves de áreas sem montículos dentro do CdM. Essas áreas aparentam representar superfícies que nivelam os topos dos murundus, apesar de não ser possível comprovar isso devido à escala do MDE utilizado e ao escopo do próprio trabalho. Apesar da impossibilidade de comprovar essa hipótese neste trabalho, essas superfícies niveladas aos topos dos murundus, juntamente à sua frequente feição alongada no sentido da vertente indicam uma importância da ação da erosão hídrica na formação desse tipo de feição.

A Figura 13 indica em tracejado azulado áreas de enclaves com ausência de feições de murundu, também é possível perceber o caminho percorrido pela água conforme esta drena pela vertente, que é inclinada para o oeste.

Figura 13: Murundus irregulares ou alongados de grande porte, alongados no sentido da vertente e com indicação em azul dos enclaves sem murundus.



Fonte: Google Earth ® (2024).



Essas feições indicadoras da ação da água não são encontradas da mesma maneira nos outros tipos de murundu. Os montículos circulares ou elípticos de médio porte por vezes também encontram-se relativamente alongados no sentido da vertente quando elípticos, como é o caso no canto inferior esquerdo na Figura 13, mas este não é sempre o caso. Há ocasiões onde estes são alongados perpendicularmente à vertente, sobretudo em áreas sob influência de alinhamento da estrutura litológica (Figura 14).

Já os montículos circulares ou elípticos de pequeno porte, talvez pelo pequeno tamanho, são os que menos aparentam ser afetados pela ação dos caminhos da água nas imagens de satélite. Sua disposição por outro lado, assim como naqueles circulares ou elípticos de médio porte, é condicionada por alinhamentos quando estes estão presentes. Estes circulares ou elípticos de pequeno porte, também são onde é mais evidente o papel da bioturbação, não só da pedofauna, mas também da macrofauna na dinâmica de formação de CdM e solos no geral na Serra da Canastra. Em campo, foi possível identificar que os ninhos dos cupins, quando destruídos, podem fornecer grandes quantidades de material e contribuir para um grande crescimento de um montículo de pequeno tamanho, ou mesmo a formação de um novo (Figura15).

Figura 14: Campo de murundus circulares ou elípticos de pequeno porte apresentando lineamentos condizentes com controle estrutural em vertente nas nascentes do Córrego dos Veadinhos, CdZ.



Fonte: O autor (2025)



Figura 15: Dois ângulos de visada de termiteiro abandonado de aproximadamente 1 metro de altura em processo de destruição em campo de murundus circulares ou elípticos de pequeno porte no CdZ.



Fonte: O autor (2025).

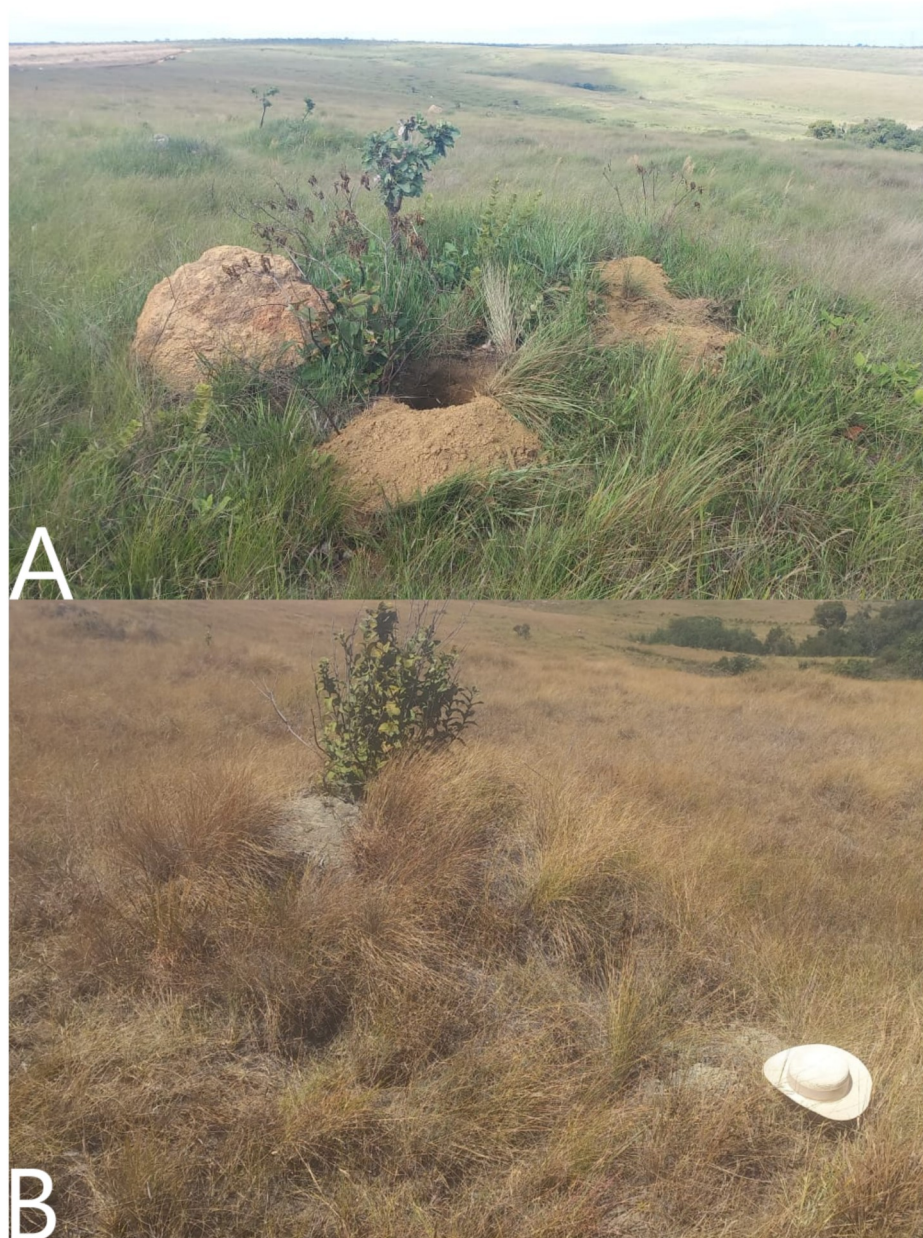
Levando em conta que, segundo a hipótese da bioturbação, é o processo de destruição o essencial para a formação dos murundus, os integrantes da fauna responsáveis por causar e acelerar esse processo muitas vezes não recebem a ênfase que merecem na discussão acerca do assunto.

A ação de animais como o Tatu Canastra (*Priodontes maximus*), e o Tamanduá Bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*), representadas respectivamente na Figura 16-A, fotografia feita em jun. 2025, onde é possível observar um túnel de aproximadamente 50cm, provavelmente escavado em busca de alimento, mobilizando o solo dentro do murundu para a superfície; e na Figura 16-B, fotografia feita em ago. 2025, onde, também durante a



alimentação, o termiteiro teve sua porção epígea completamente arrancada, acumulando tanto material já desagregado no topo do murundu quanto a estrutura do ninho aos pés do montículo.

Figura 16: Túnel escavado por Tatu Canastra (*Priodontes maximus*) em murundu do tipo circular ou elíptico de pequeno porte (A); Murundu circular de pequeno porte com termiteiro destruído por Tamanduá Bandeira (*Myrmecophaga Tridactyla*) (B).



Fonte: O autor (2025).

Outro ponto que vale a pena ser levantado é a capacidade de acúmulo de material sem que necessariamente seja preciso que a colônia de cupins morra ou seja completamente



destruída. A Figura 17 apresenta um termiteiro que sofreu um ataque de Tamanduá Bandeira (*Myrmecophaga Tridactyla*), mas que resistiu e foi reparado pela colônia. Repare que, um termiteiro ainda habitado cedeu material para o montículo em uma escala de tempo curtíssima.

Figura 17: Termiteiro sobre murundu, que foi atacado por Tamanduá Bandeira (*Myrmecophaga Tridactyla*)



Fonte: O autor (2025).

É perceptível que esse papel visível da bioturbação nos montículos circulares ou elípticos de pequeno porte é favorecido por seu pequeno tamanho, já que o volume de solo em um único termiteiro é capaz de contribuir material correspondente a uma porcentagem considerável do volume prévio do murundu.

## 7.2. Estatística Descritiva

A morfometria rendeu resultados interessantes que através da análise visual dos mapas aliada às análises estatísticas descritivas, permitiram uma compreensão maior dos ambientes onde os CdM se posicionam na paisagem, auxiliando a decifrar aquilo observado em campo e na etapa de fotointerpretação.

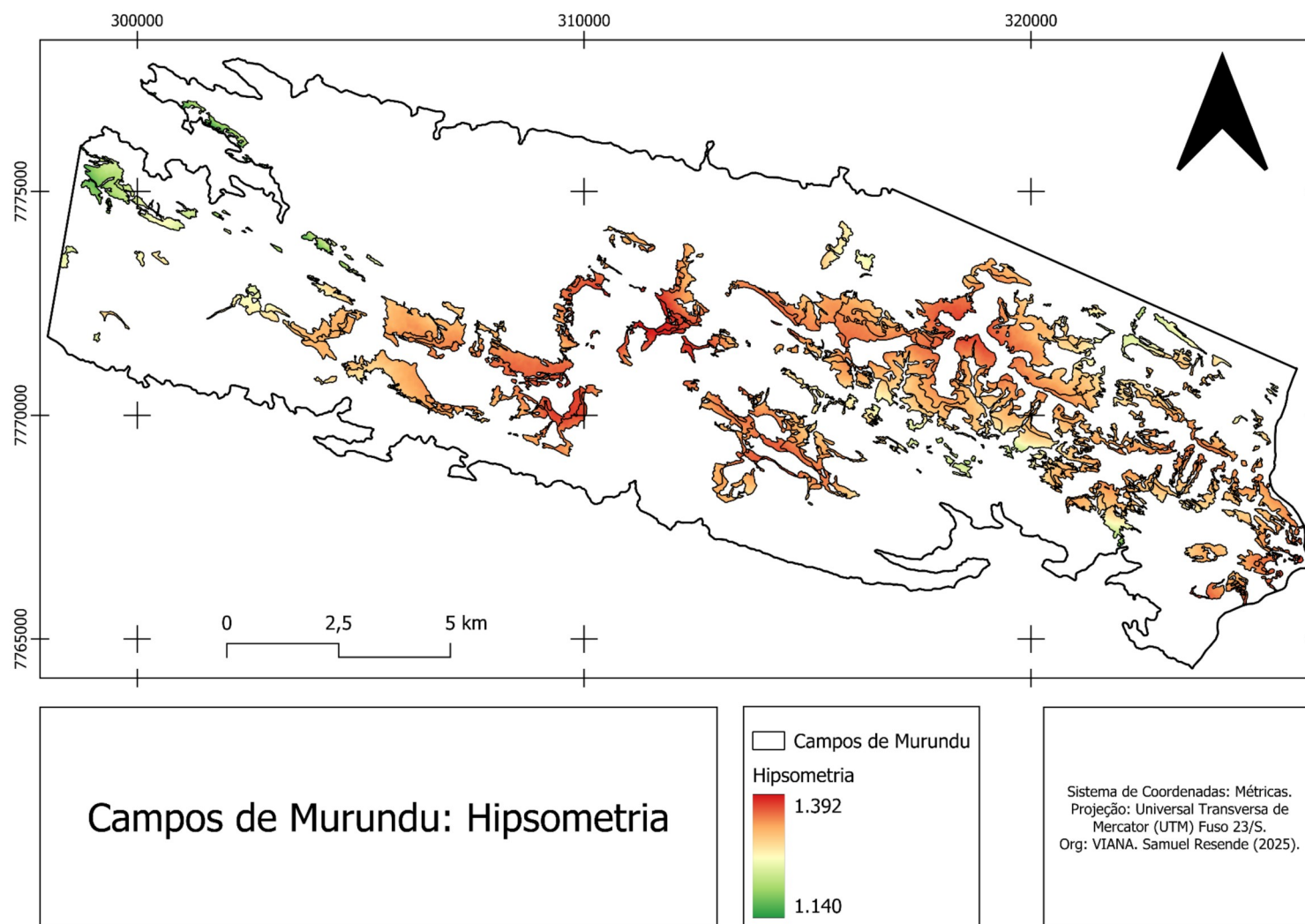
### 7.2.1. Hipsometria

Os CdM no Chapadão do Zagaia são encontrados entre as altitudes de 1.140 e 1.392m acima do nível do mar, sendo as menores altitudes encontradas na porção ocidental da área de estudo, enquanto os campos nas regiões centrais, onde ocorrem com maior abundância, estão sobre as regiões mais elevadas da área de estudo.

As médias dos dados indicadas no Gráfico 01 X demonstram que, de fato, os CdM tendem a se dispor das menores altitudes para as maiores em CdM circulares ou elípticos de pequeno porte, seguido de circulares ou elípticos de médio porte e por fim irregulares ou alongados de grande porte. A distância entre o primeiro e terceiro quartis, ou seja, os 50% centrais das áreas ocupadas por cada CdM indicam que os CdM circulares ou elípticos de pequeno porte são os mais amplamente distribuídos, concentrando-se em uma amplitude altimétrica de pouco mais de 55 metros, enquanto os outros dois tipos se concentram em um vão de menos de 30 metros de altitude.

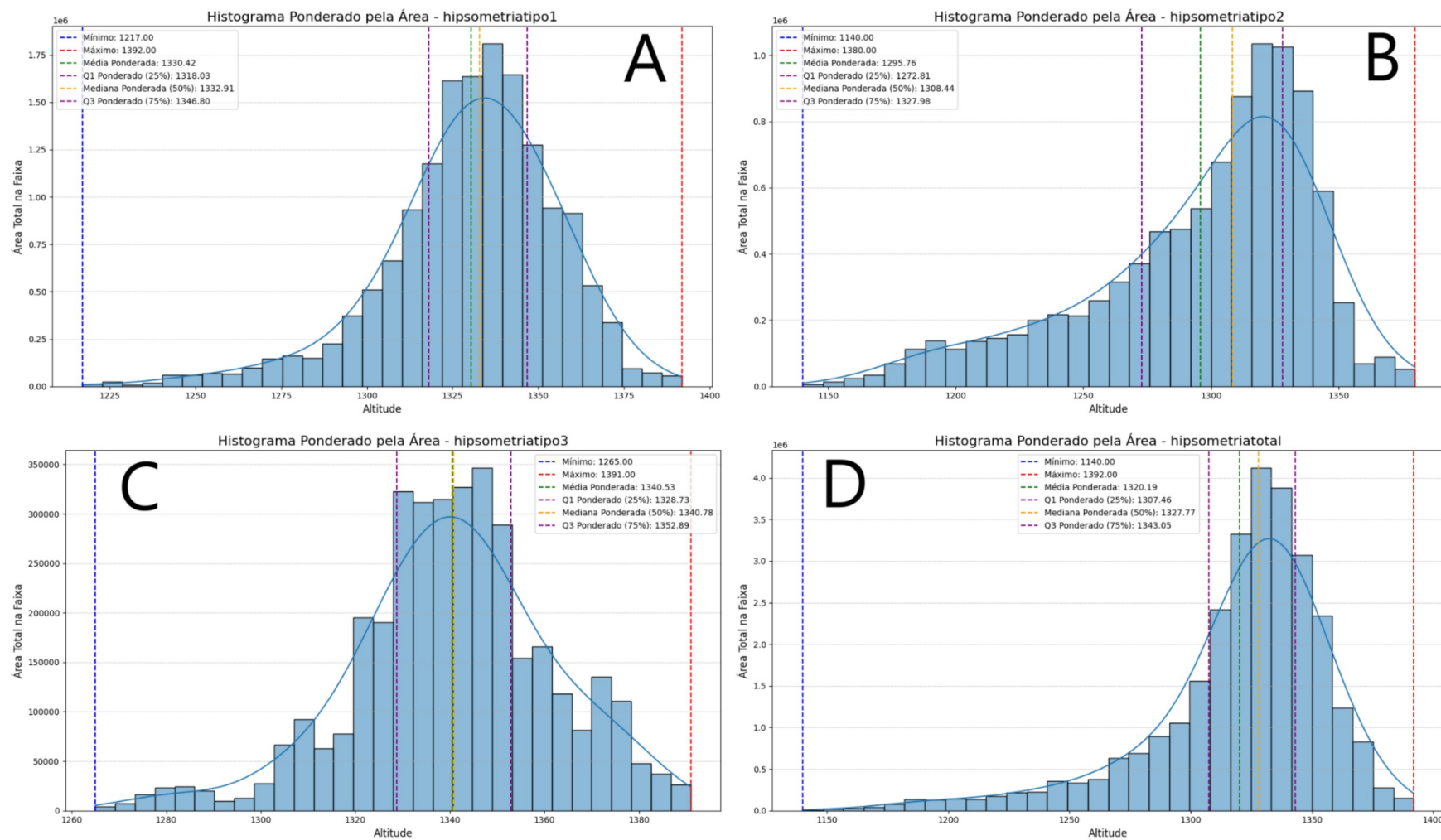
A concentração dos CdM na altitude como um todo apontam algo interessante. Apesar da ampla distribuição altimétrica dentro do CdZ, metade se encontra dentro de um gradiente de 22,86m, equivalente a 15,03% de toda a altitude onde ocorrem, isso é um potencial indicador do nível de variação freática onde ocorrem as condições de hidromorfismo sazonal que os murundus precisam para se formar.

Mapa 07: Hipsometria dos CdM no CdZ.



Fonte: O autor (2025).

Gráfico 01: Histogramas representando a distribuição dos CdM - Hipsometria: circulares ou elípticos de médio porte (A), circulares ou elípticos de pequeno porte (B), irregulares ou alongados de grande porte (C) e Área total (D).



Fonte: O autor (2025).



### 7.2.2. Declividade

Os CdM estão localizados em áreas, no geral, pouco declivosas, exceto por algumas regiões distintas na região noroeste e sudeste da área de estudo (Mapa 08), estes estão localizados em áreas próximas de onde os limites da área de estudo se dão, não em escarpas estruturais, mas em vertentes fortemente dissecadas pela drenagem e afetadas por controle estrutural. Estes nas regiões mais declivosas são em sua maioria CdM circulares ou elípticos de pequeno porte, indicando a possibilidade de uma ação mais forte da erosão sobre o material depositado pelas térmitas nesse tipo de CdM.

O Gráfico 02 demonstra que os CdM se concentram basicamente em áreas com declividades inferiores a 15%. Todos os tipos de CdM se desenvolvem a partir de ambientes planos, porém, enquanto os tipos 1 e 3 concentram 75% de todas as áreas ocupadas em declividades próximas ou inferiores a 10%, naqueles CdM circulares ou elípticos de pequeno porte isso se dá próximo de 15%. É notável que nos CdM circulares ou elípticos de pequeno porte, o gráfico se encontra com pico mais agudo e desviado para a esquerda, não porque eles se concentram em declividades inferiores aos outros, mas porque existem campos, mesmo que em muito pequena quantidade, se estendem até declividades bem altas se comparadas com as demais, excedendo 60%.

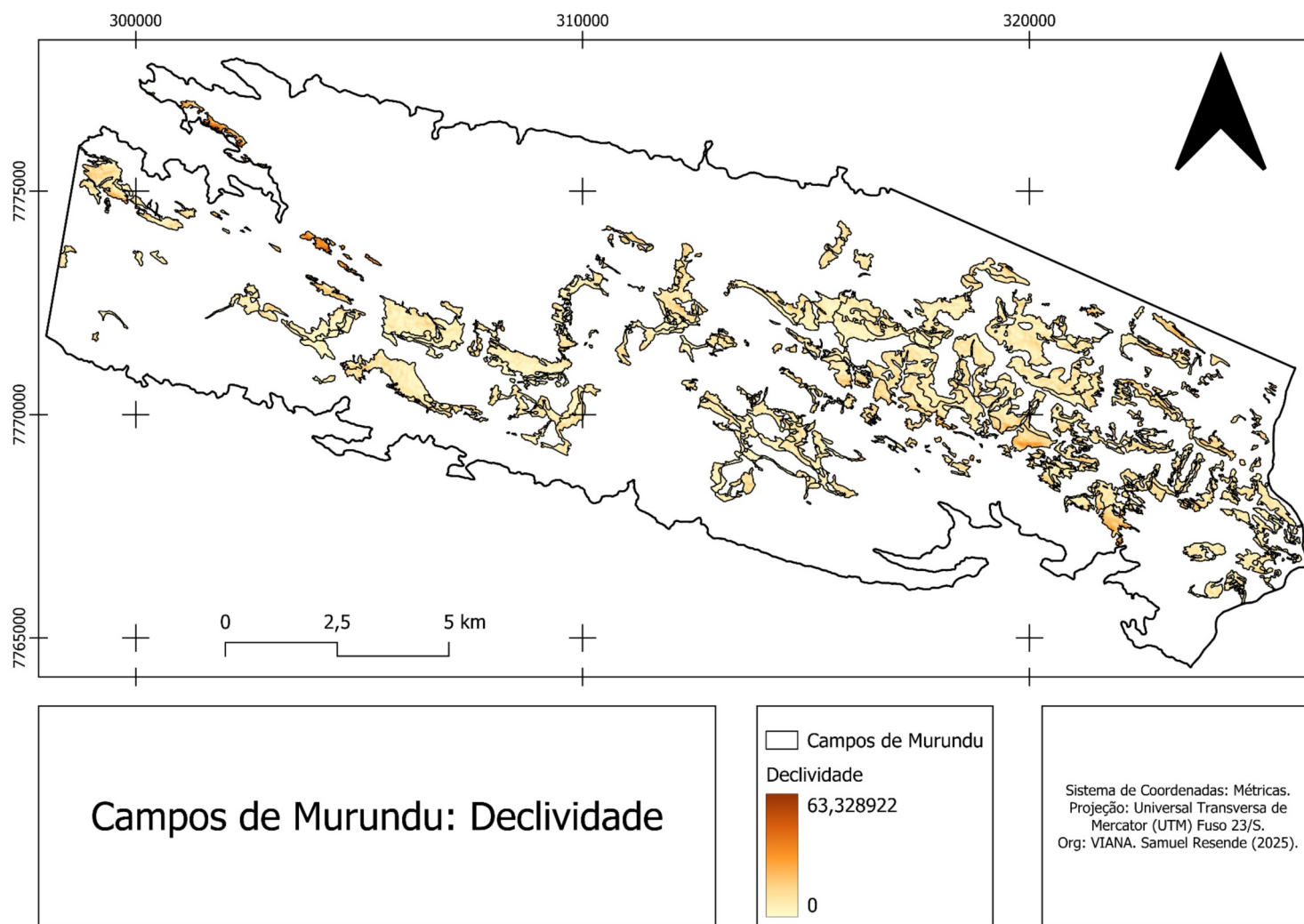
Apesar da predominância de declividades relativamente baixas, os valores encontrados foram bastante superiores aos encontrados em trabalhos semelhantes, como o realizado em Brasília por Lima e Corrêa, 2025, onde os CdM estavam em declividades entre 2 e 5%, indicando uma dinâmica diferenciada.

Em relação aos murundus em altas declividades, sobretudo maiores que 50% é possível levantar duas hipóteses para explicá-los. É possível que, nesses CdM, a anomalia de declividade seja na verdade, em decorrência da resolução do MDE ou que haja, nesses ambientes bastante limitados espacialmente, algum tipo de controle estrutural que favorece o acúmulo de água em bolsões, mesmo em áreas declivosas.

Nazar (2018) identificou no Chapadão do Diamante, um grande eixo de lineamentos no sentido NW-SE, o mesmo sentido no qual se encontram os alinhamentos que aparentam controlar a formação dos murundus, fortalecendo a possibilidade de influência marcante dos microlineamentos das rochas dobradas da Serra da Canastra nos CdM.

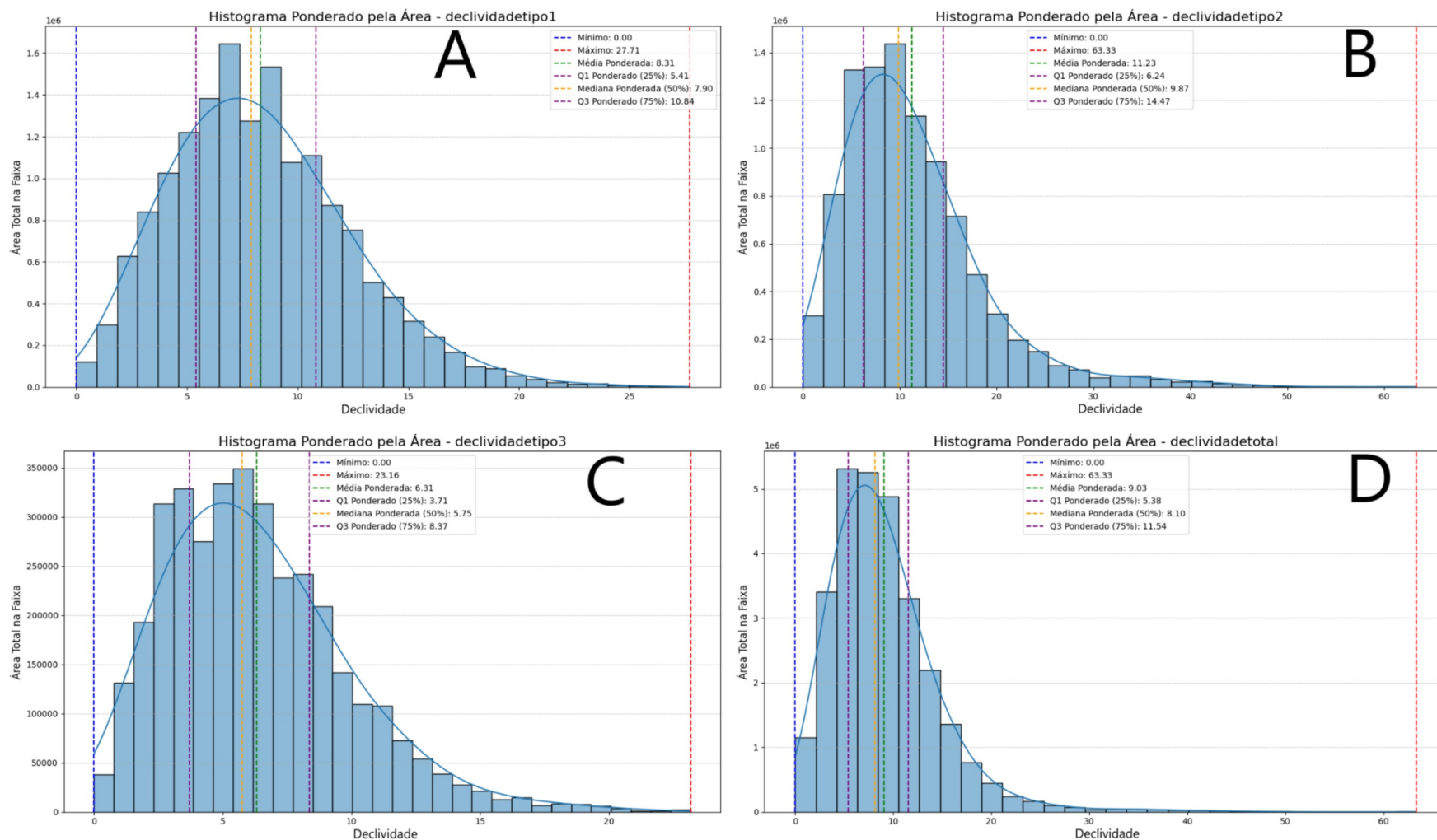


Mapa 08: Declividade dos CdM no CdZ.



Fonte: O autor (2025).

Gráfico 02: Histogramas representando a distribuição dos CdM - Declividade: circulares ou elípticos de médio porte (A), circulares ou elípticos de pequeno porte (B), irregulares ou alongados de grande porte (C) e Área total (D).



Fonte: O autor (2025).

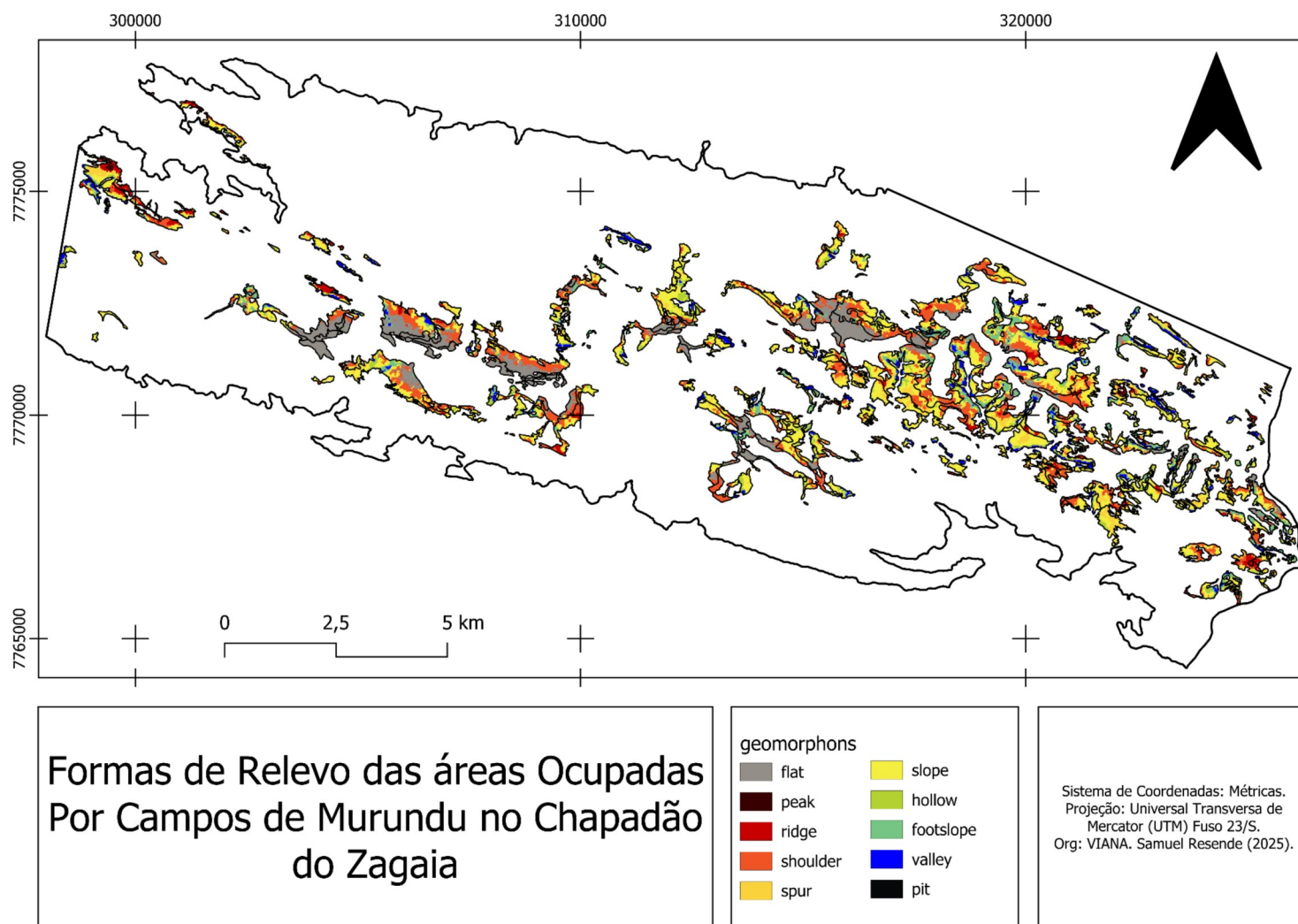
### 7.2.3. Geomorphons

Como pode ser visto na Mapa 09, todas as principais formas de relevo puderam ser encontradas dentro das áreas dos CdM, apesar de que, é possível que algumas destas possam não condizer com a realidade devido à resolução do MDE e do raio de busca que teve de ser estabelecido na realização do algoritmo.

O Gráfico 03 demonstra que os geomorphons foram de grande serventia para corroborar às inferências feitas através das relações da fotointerpretação e das observações de campo, é possível perceber os CdM dos tipos 1 e 2 predominam em formas de relevo de vertente, enquanto os irregulares ou alongados de grande porte predominam em formas planas, indicando que de fato estes últimos tendem a se formar nas porções menos declivosas mais próximas aos interflúvios. Por outro lado, a maior presença de CdM circulares ou elípticos de pequeno porte em formas de vale se comparado aos outros tipos indica sua predominância em vertentes mais declivosas.

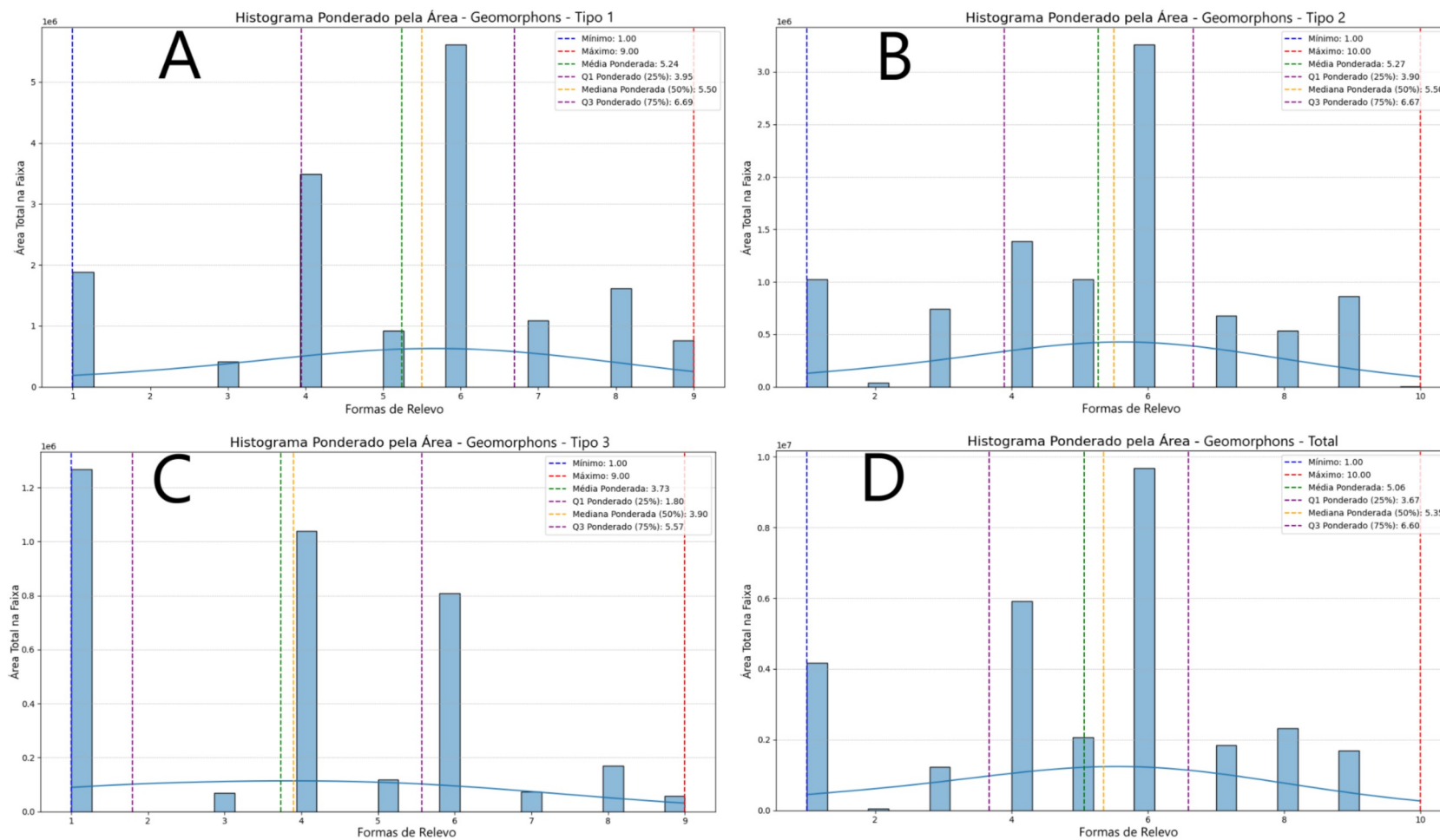
Todos os tipos de CdM tem uma presença importante nas áreas em forma de ressaltos, ou seja o ponto de quebra entre o topo mais aplainado e as vertentes de maior declive, isso pode se dar devido à dinâmica do movimento da água nesse ponto de quebra. Essa hipótese pode ser corroborada pela mudança do perfil dos tipos, já que a maior área ocupada pelos CdM irregulares ou alongados de grande porte está nas formas planas, seguida pelos ressaltos, demonstrando uma transição das áreas próximas dos interflúvios para as vertentes, enquanto nos demais Tipos esse protagonismo é das vertentes, indicando a transição desses pontos de quebra de relevo para as formas de vertente. Essa descoberta está em concordância com a situação descrita por Confessor (2023) no Chapadão do Diamante.

Mapa 09: Geomorphons dos CdM no CdZ



Fonte: O autor (2025).

Gráfico 03: Histogramas representando a distribuição dos CdM - Geomorphons: circulares ou elípticos de médio porte (A), circulares ou elípticos de pequeno porte (B), irregulares ou alongados de grande porte (C) e Área total (D).



Fonte: O autor (2025).

#### 7.2.4. Índice Topográfico de Umidade (TWI)

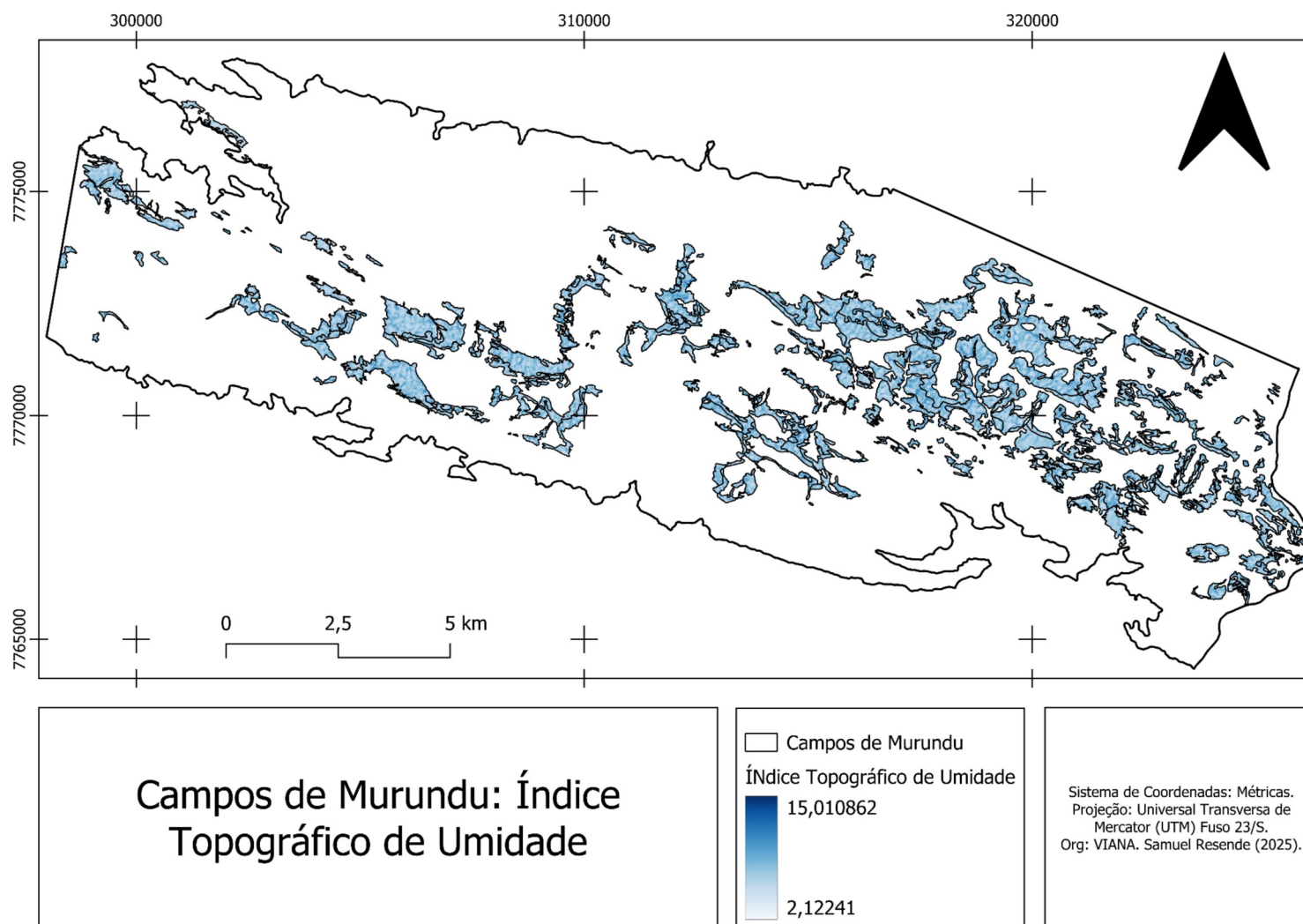
O Índice Topográfico de Umidade rendeu resultados bastante homogêneos para todos os tipos de CdM, como pode ser visto relacionando o Mapa 10 ao Gráfico 04, todos abrangem praticamente a mesma amplitude, que por sua vez foi a mesma encontrada em toda a área de estudo.

No geral, os dados indicam que os CdM necessitam de certa umidade para se formar, já que não ocorrem na extremidade onde a topografia indica a menor umidade, e também que ocorrem, mas tem abundância inversamente proporcional ao crescimento da umidade.

Apesar do resultado adquirido, a análise conjunta às demais observações realizadas no trabalho indicam que o TWI pode não ser a maneira mais apropriada de estimar a umidade nos CdM da Serra da Canastra, principalmente se utilizando de MDE de resolução de 1 arcsec, já que se trata de uma região de relevo com fortíssimo controle estrutural, perceptível na superfície em áreas mais declivosas e menos elevadas onde não há recobrimento expressivo de pacote sedimentar, que pode interferir no movimento e acúmulo da água em superfície e subsuperfície.

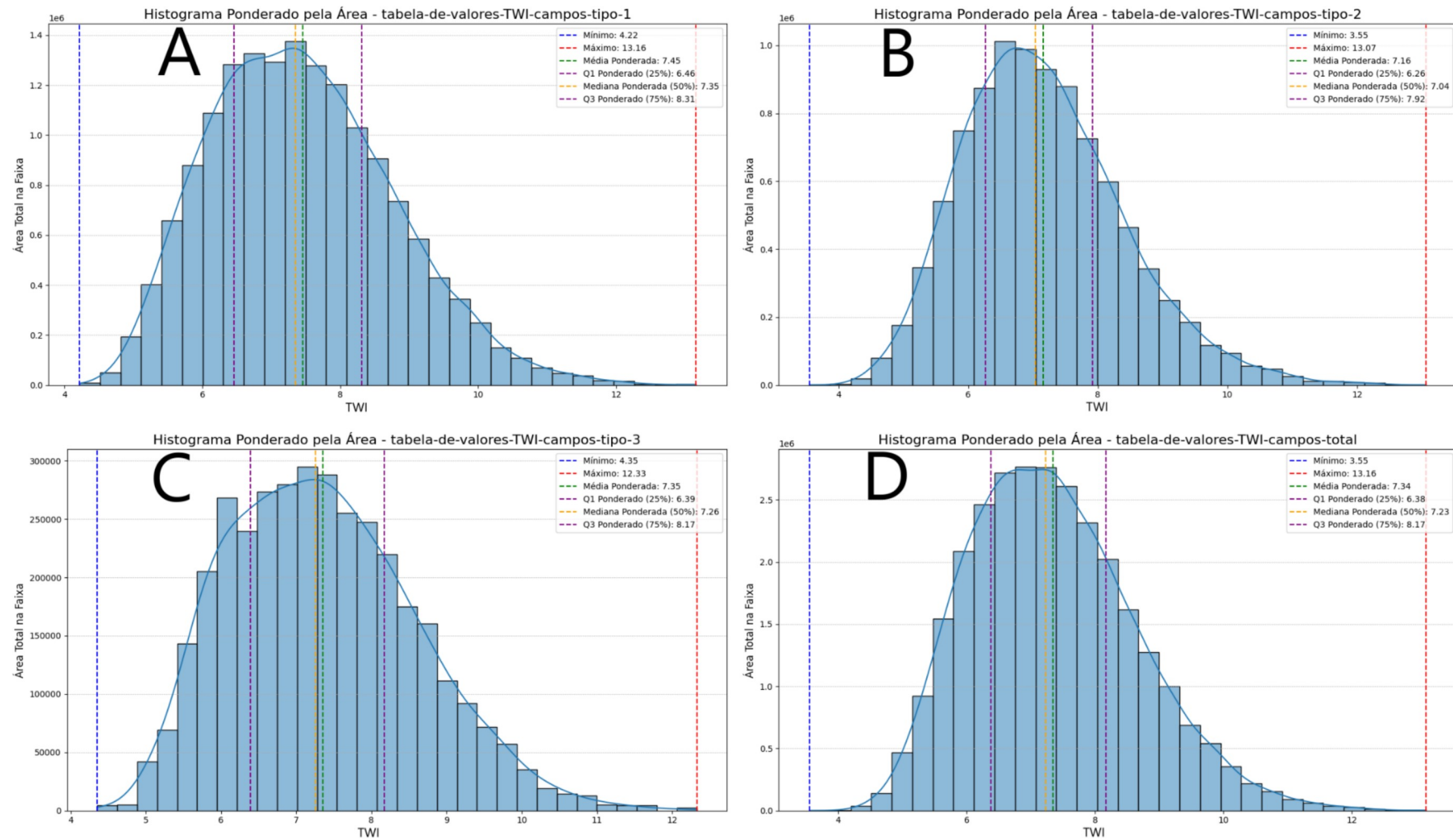


Mapa 10: Índice Topográfico de Umidade (TWI) dos CdM no CdZ



Fonte: O autor (2025).

Gráfico 04: Histogramas representando a distribuição dos CdM - TWI: circulares ou elípticos de médio porte (A), circulares ou elípticos de pequeno porte (B), irregulares ou alongados de grande porte (C) e Área total (D).



Fonte: O autor (2025).

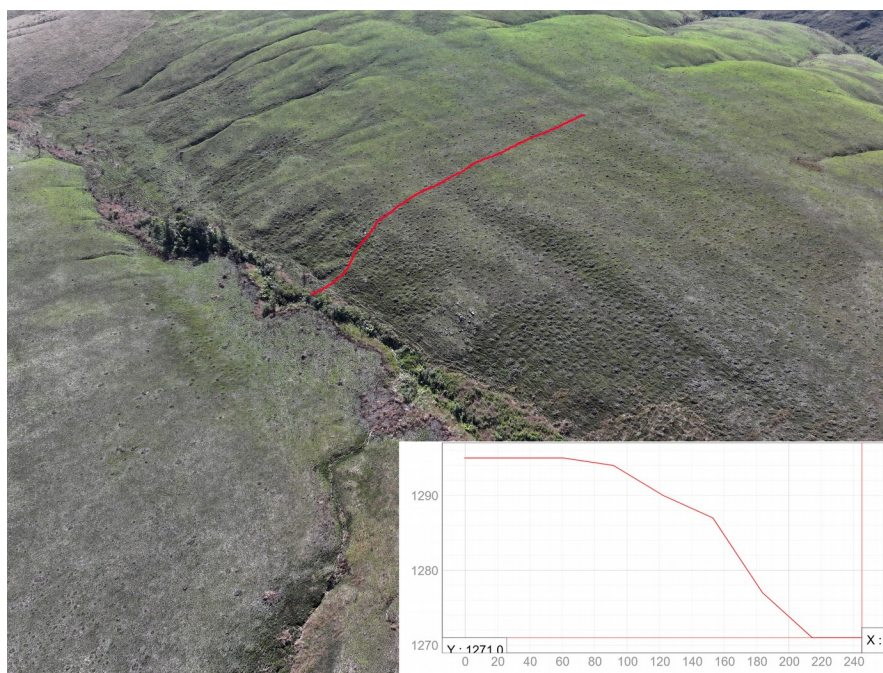


### 7.2.5. Índice de Rugosidade do Terreno (TRI)

O Índice de Rugosidade do Terreno onde os CdM ocorrem é majoritariamente baixo, como exemplificado pelo exagero que foi necessário na representação do Mapa 11 e pelo posicionamento do 3º quartil no Gráfico 05. Os CdM circulares ou elípticos de pequeno porte ocorrem em áreas mais rugosas, enquanto aqueles irregulares ou alongados de grande porte encontram-se nas áreas menos rugosas, sendo os CdM circulares ou elípticos de médio porte intermediários. Essa tendência acompanha aquilo observado ao longo do trabalho, onde os pequenos murundus do tipo circular ou elíptico de pequeno porte tendem a se localizar em áreas mais distintas daquelas normalmente associadas aos CdM na literatura.

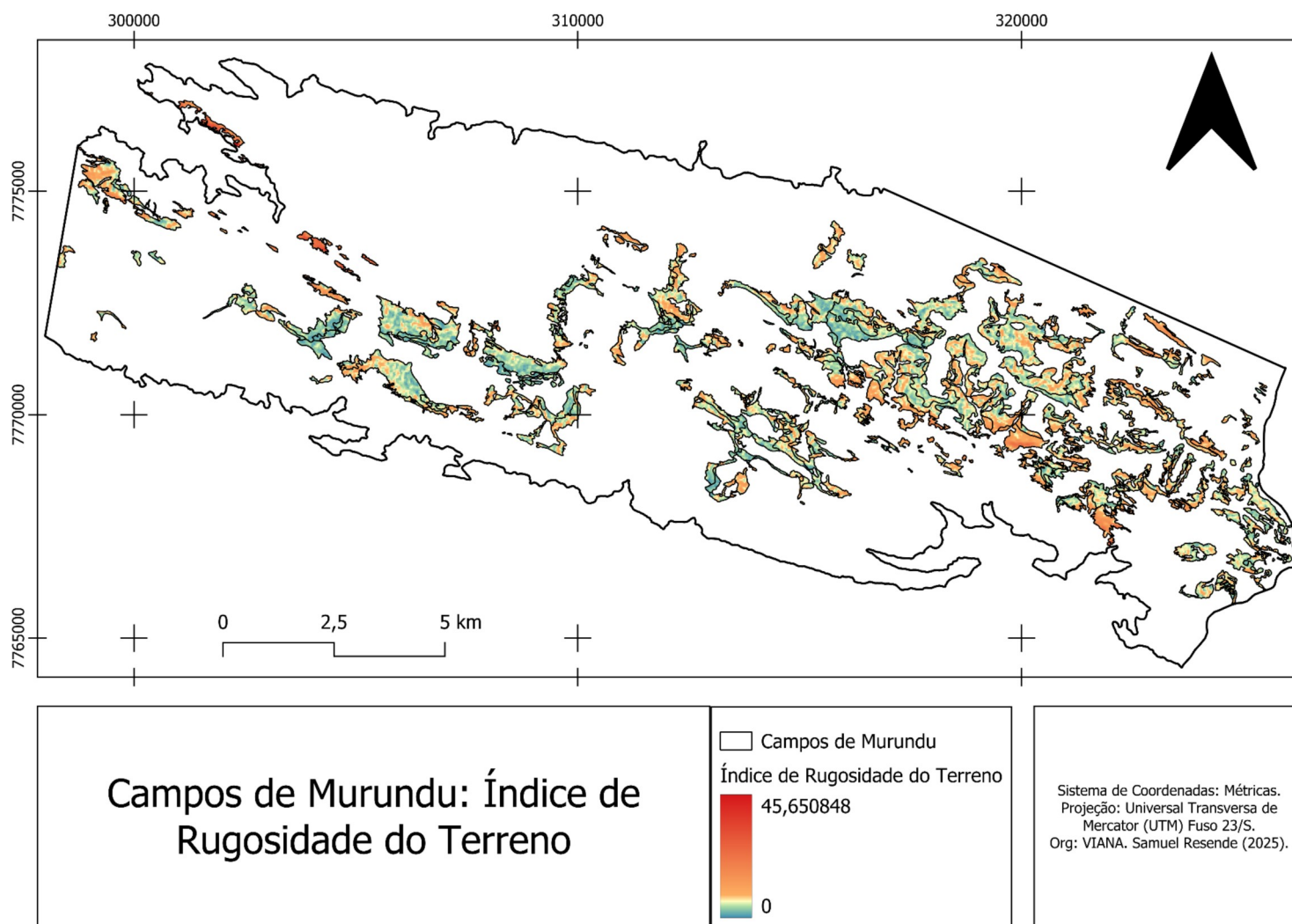
As áreas onde a rugosidade é maior podem estar sujeitos às mesmas situações indicadas em relação à declividade, a presença de controle estrutural e a resolução do MDE. A possibilidade de equívoco durante o processo de fotointerpretação não é uma impossibilidade, porém comprovações de campo como a exibida na Figura 18 indicam que é mais provável que dinâmicas reais na paisagem do CdZ permitam a formação de CdM em ambientes aos quais não é normalmente relacionado na literatura.

Figura 18: Vertente que comporta células com valores do TRI superiores a 30 e declividade superior a 40%, presença de Campo de Murundus circulares ou elípticos de pequeno porte - Chapadão do Zagaia.



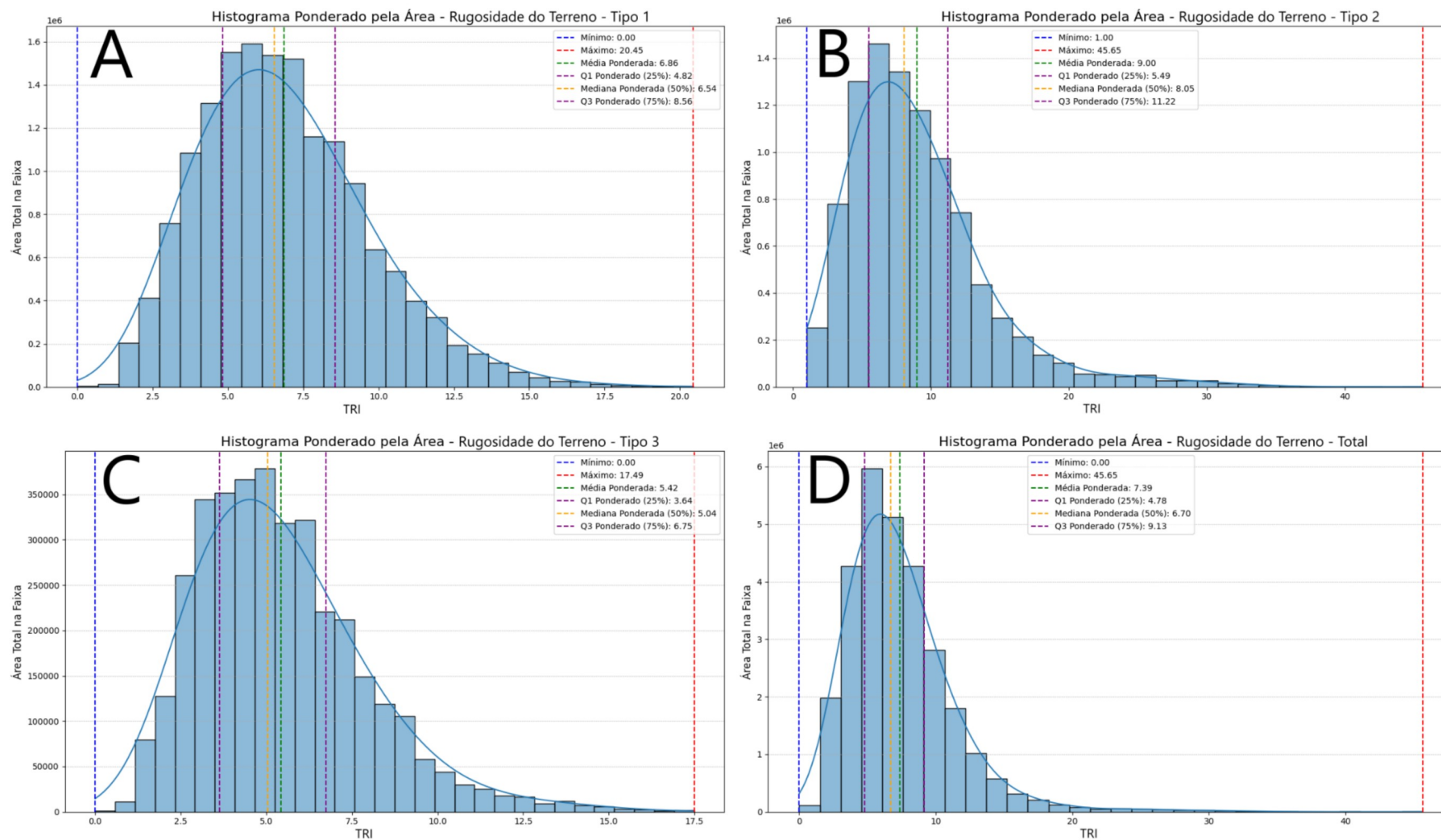
Fonte: O autor (2025).

Mapa 11: Índice de Rugosidade do Terreno (TRI) dos CdM no CdZ



Fonte: O autor (2025).

Gráfico 05: Histogramas representando a distribuição dos CdM - TRI: circulares ou elípticos de médio porte (A), circulares ou elípticos de pequeno porte (B), irregulares ou alongados de grande porte (C) e Área total (D).



Fonte: O autor (2025).

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho foi capaz de elucidar dúvidas sobre o posicionamento dos campos de murundus na paisagem do Chapadão do Zagaia. Apesar de ser limitado pela resolução do modelo, a análise morfométrica baseada em MDE de resolução de 1 arcsec permitiu encontrar tendências na ocorrência dos CdM e confirmar hipóteses levantadas pela fotointerpretação.

As características analisadas da morfometria do relevo e as observações de campo indicam que, no CdZ, processos distintos estão em ação na formação e evolução dos CdM. A dinâmica do movimento superficial e subsuperficial da água no solo de fato aparenta ser essencial para a formação dos murundus, sendo que seu condicionamento pela condição de ambiente dobrado da Serra da Canastra pode permitir o desenvolvimento de CdM em paisagens muito mais diversas do que normalmente encontrados no Cerrado como um todo.

Descobriu-se que os CdM como um todo tendem a ocorrer em áreas mais elevadas dentro do CdZ, próximos de nascentes; Áreas pouco rugosas e de declividades relativamente baixas, mesmo que superiores às encontradas nesse tipo de microtopografia em outras regiões; Os CdM também apresentaram uma ocorrência predominante em áreas de forma de relevo de vertentes, seguidas de ressaltos e áreas planas, indicando uma formação em ambientes transicionais onde a dinâmica subsuperficial da água favorece o hidromorfismo sazonal e, por consequência, a colonização dos montículos pelas colônias de cupins.

Foi possível descobrir que há mais de um tipo de morfologia de murundu no CdZ, e que estas se dispõem de maneira distinta uns dos outros no ambiente. Os murundus circulares ou elípticos de pequeno porte foram indicados pela morfometria como sendo os que ocorrem nos ambientes mais declivosos, rugosos e menos elevados, ocorrendo predominantemente em áreas de vertentes e fundos de vale. Já os CdM irregulares ou alongados de grande porte se apresentaram majoritariamente nas áreas mais planas e localizadas em maiores elevações. Os CdM circulares ou elípticos de médio porte se demonstraram em ambientes intermediários aos outros 2 na paisagem. Sendo os mais comuns, representando mais da metade de todos os CdM e possivelmente representando as áreas onde as dinâmicas formadoras destas microtopografias estão mais presentes.

Os resultados do trabalho são interessantes, na medida que também podem auxiliar em estudos futuros acerca do assunto, permitindo desvendar mais profundamente as questões não resolvidas em relação aos campos de murundus no Chapadão do Zagaia e na Serra da Canastra como um todo.

## 9. REFERÊNCIAS

BAPTISTA, Gustavo de Mello; CORRÊA, Rodrigo Studart; SANTOS, Perseu Fernando dos. **Campos de murundus da Fazenda Água Limpa da UnB**: hipóteses de origem. Revista do CEAM, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 47–60, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/revistadoceam/article/view/10076>>. Acesso em: 23 jun. 2025.

BARROS, Luiz Fernando de Paula; LAVARINI, Chrystiann; LIMA, Laura Souza; MAGALHÃES JÚNIOR, Antônio Pereira. **Síntese dos cenários paleobioclimáticos do quaternário tardio em Minas Gerais/sudeste do Brasil** / Synthesis of the Late-Quaternary palaeobioclimatic scenarios in Minas Gerais State/Southeastern Brazil. Sociedade & Natureza, [S. l.], v. 23, n. 3, 2012. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/13298>. Acesso em: 4 sep. 2025.

BIZZI, Luiz Augusto; SCHOBENHAUS, Carlos; VIDOTTI, Roberta Mary; GONÇALVES, João Henrique (Ed.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003.

BROECKER, Wallace; DENTON, George; EDWARDS, R.; CHENG, Hai; ALLEY, Richard ; PUTMAN, Aaron. **Putting the Younger Dryas cold event into context**. Quaternary Science Reviews. 29. 1078-1081. DOI: 10.1016/j.quascirev.2010.02.019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/236943863\\_Putting\\_the\\_Younger\\_Dryas\\_cold\\_event\\_into\\_context](https://www.researchgate.net/publication/236943863_Putting_the_Younger_Dryas_cold_event_into_context). Acesso em 19 jul. 2025.

CONFESSOR, Jefferson Gomes. **Dinâmica hidrogeomorfológica de vertentes do Chapadão do Diamante** - Serra da Canastra – MG. 2023. 231 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2023.70>

CONFESSOR, Jefferson; FERREIRA, Idelvone Mendes; LADEIRA, Francisco S. B.; MACHADO, Diego Fernandes Terra; RODRIGUES, Silvio Carlos; SILVA, Lara Luíza. **Dinâmica Hídrica do Solo de Campo de Murundus do Parque Nacional da Serra da Canastra** - MG. Revista Brasileira de Geografia Física. 18. 181-199. DOI <http://doi.org/10.26848/rbgf.v18.1.p181-199>. 2025. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/387646443\\_Dinamica\\_Hidrica\\_do\\_Solo\\_de\\_Campo\\_de\\_Murundus\\_do\\_Parque\\_Nacional\\_da\\_Serra\\_da\\_Canastra\\_-\\_MG](https://www.researchgate.net/publication/387646443_Dinamica_Hidrica_do_Solo_de_Campo_de_Murundus_do_Parque_Nacional_da_Serra_da_Canastra_-_MG). Acesso em: 12 ago. 2025.

CONSTANTINO, Reginaldo. **Cupins ou Térmitas** (Infraordem Isoptera). In: CONSTANTINO, Reginaldo; DE CARVALHO, Cláudio José Barros; CASARI, Sônia Aparecida; DE MELO, Gabriel Augusto Rodrigues; RAFAEL, José Albertino et al. **Insetos do Brasil**: Diversidade e Taxonomia. Manaus - AM: Editora INPA, 2024.p.341 - 351.

DA SILVA, Julio Manoel França; OKA-FIORI, Chisato; DA SILVEIRA, Claudinei Taborda. **Geomorfometria**: uma Análise de Conceitos, Métodos e Aplicações em Geografia Física

(Geomorphometry: an analysis of concepts, methods and applications in physical geography). *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 558–583, 2017. DOI: <http://doi.org/10.5935/1984-2295.20170036>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/234008>. Acesso em: 7 jul. 2025.

DE CASTRO JÚNIOR, Prudêncio Rodrigues; GIRARD, Pierre; NUNES DA CUNHA, Cátia. **DINÂMICA HÍDRICA EM CAMPOS DE MURUNDUS**. *Águas Subterrâneas*, [S. l.], n. 1, 2004. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23439>. Acesso em: 29 set. 2025.

DESOUZA, Og; CANCELLO, Eliana M.. **TERMITES AND ECOSYSTEM FUNCTION**. In: UNESCO-EOLSS. **Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)**. 2010.

GOMES CONFESSOR, Jefferson; LUÍZA SILVA, Lara; FERNANDES TERRA MACHADO, Diego; MENDES FERREIRA, Idelvone; SERGIO BERNARDES LADEIRA, Francisco; CARLOS RODRIGUES, Silvio. **Dinâmica Hídrica do Solo de Campo de Murundus do Parque Nacional da Serra da Canastra - MG**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 181–199, 2025. DOI: <http://doi.org/10.26848/rbgf.v18.1.p181-199>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/261682>. Acesso em: 19 jul. 2025.

JASIEWICZ, Jarosław; STEPINSKI, Tomasz F. **Geomorphons: a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms**. *Geomorphology* v. 182, p. 147-156, 2013.

JIANCHAO, Ma; GUANGFA, Lin; JUNMING, Chen; LIPING, Yang. **An improved Topographic Wetness Index considering topographic position**. 2010 18th International Conference on Geoinformatics, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2010.5567607>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/220697728\\_An\\_improved\\_Topographic\\_Wetness\\_Index\\_considering\\_topographic\\_position](https://www.researchgate.net/publication/220697728_An_improved_Topographic_Wetness_Index_considering_topographic_position). Acesso em 19 jul. 2025.

KOPECKÝ, Martin; MACEK, Martin; WILD, Jan. **Topographic Wetness Index calculation guidelines based on measured soil moisture and plant species composition**. *The Science of The Total Environment*, v. 757, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143785>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/346004523\\_Topographic\\_Wetness\\_Index\\_calculation\\_guidelines\\_based\\_on\\_measured\\_soil\\_moisture\\_and\\_plant\\_species\\_composition](https://www.researchgate.net/publication/346004523_Topographic_Wetness_Index_calculation_guidelines_based_on_measured_soil_moisture_and_plant_species_composition). Acesso em 19 jul. 2025.

NAZAR, Thallita Isabela Silva Martins. **O Chapadão do Diamante na Serra da Canastra/ MG, Brasil: caracterização geomorfológica e análise integrada do meio físico a partir de dados multifontes**. 2018. 270 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

PAULINO, Helder; ASSIS, Paula; VILELA, Laíze; CURI, Nilton; CARNEIRO, Marco



Aurélio. **CAMPOS DE MURUNDUS: GÊNESE, PAISAGEM, IMPORTÂNCIA AMBIENTAL E IMPACTO DA AGRICULTURA NOS ATRIBUTOS DOS SOLOS.** (2015).

PIRES JÚNIOR, Aderaldo Teixeira. **Campos de murundus: bioturbação e evolução dos solos lateríticos aluminosos e da vegetação no Cerrado.** 2017. 36 f. Trabalho de conclusão de curso (Ecologia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Biociências (Campus de Rio Claro), 2017.

QUADRO, Mário Francisco Leal de et al. **Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 27, n. 2, p. 152-162, 2012 Tradução. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0102-77862012000200004>. Acesso em: 04 jul. 2025.

RIBEIRO, José Felipe; WALTER, Bruno Machado Teles. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: DE ALMEIDA, Semíramis Pedrosa; RIBEIRO, José Felipe; SANO, Sueli Matiko. **Cerrado Ecologia e Flora**, vol. 1. Brasília - DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 151 - 212.

RODRIGUES, Silvio Carlos et al. **CHRONOLOGY OF QUARTZITIC SLOPES FROM MINAS GERAIS, BRAZIL.** Mercator, Fortaleza, v. 21, feb. 2023. ISSN 1984-2201. Available at: <<http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/e21032>>. Date accessed: 11 sep. 2025. doi: <https://doi.org/10.4215/rm2022.e21032>.

RODRIGUES, Silvio Carlos; HELENA RIBEIRO ROCHA AUGUSTIN, Cristina; ISABELA SILVA MARTINS NAZAR, Thallita. **Mapeamento Geomorfológico do Estado de Minas Gerais: uma proposta com base na morfologia.** Revista Brasileira de Geomorfologia, [S. l.], v. 24, n. 1, 2023. DOI: <http://doi.org/10.20502/rbg.v24i1.2233>. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2233>. Acesso em: 1 ago. 2025.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. et al. **Late quaternary vegetational and climatic changes in cerrado and palm swamp from central Brazil.** Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 128, n. 1-4, p. 215-226, 1997 Tradução . . Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0031-0182\(96\)00018-1](https://doi.org/10.1016/s0031-0182(96)00018-1). Acesso em: 02 jul. 2025.

SANTOS, Fabiana Cristina dos; CONFESSOR, Jefferson Gomes. **Geoquímica e geocronologia em campos de murunduns no Chapadão do Diamante –Serra da Canastra-MG.** Caderno de Geografia, Belo Horizonte, v. 30, n. 1, p. 99–111, 2020. DOI: <http://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2020v30nesp1p99-111>. Disponível em: <<https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/22361>>. Acesso em: 26 jun. 2025.

SILVA, Denise Alves da. **Análise das classes de declividade do Chapadão do Diamante (Serra da Canastra) e sua relação com Padrões de Compartimentação do Relevo e Geocoberturas.** 2023. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

SILVA, Lara Luiza. **MICRORRELEVOS DO CERRADO BRASILEIRO: INFLUÊNCIA DOS ASPECTOS PAISAGÍSTICOS NOS PROCESSOS DE FORMAÇÃO E**

CONSTITUIÇÃO DOS CAMPOS DE MURUNDUS DO CHAPADÃO DO DIAMANTE, SERRA DA CANASTRA – MG. 2025, 278fl. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em:< <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2025.297>>.

SILVEIRA, Ricardo Michael Pinheiro; SILVEIRA, Claudinei Taborda da. **Análise Temática e Conceitual de Mapas Geomorfológicos: A Transcrição Gráfica da Complexidade do Relevo.** Revista Brasileira de Cartografia, [S. l.], v. 73, n. 2, p. 574–597, 2021. DOI: 10.14393/rbcv73n2-54437. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/54437>. Acesso em: 7 jul. 2025.

SOUZA HJ, DELABIE JHC, SODRÉ GA. **Termite participation in the soil-forming processes of 'murundus' structures in the semi-arid region of Brazil.** Rev Bras Cienc Solo. 2020;44:e0190133. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190133>

UHLEIN, Alexandre; FONSECA, Marco; SEER, Hildor & DARDENNE, Marcel. **TECTÔNICA DA FAIXA DE DOBRAMENTOS BRASÍLIA: SETORES SETENTRIONAL E MERIDIONAL.** Revista Geonomos. 2. 10.18285/geonomos.v2i20.243, 2012. DOI: <https://doi.org/10.18285/geonomos.v2i20.243>. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11714>. Acesso em: 28 ago. 2025.

VASCONCELOS, Vinicius; MARTINS, Éder de Souza; CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio de; MARQUES JÚNIOR, José; SIQUEIRA, Diego Silva; COUTO JÚNIOR, Antônio Felipe; GUIMARÃES, Renato Fontes; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso; REATTO, Adriana. **MODELO DE EVOLUÇÃO PEDOGEOMORFOLÓGICA DA SERRA DA CANASTRA, MG.** Revista Brasileira de Geomorfologia, [S. l.], v. 14, n. 2, 2013. DOI: 10.20502/rbg.v14i2.379. Disponível em: <<https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/379>>. Acesso em: 23 jun. 2025.

## 10. ANEXOS

```
import pandas as pd
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import os # Biblioteca para interagir com o sistema operacional (criar pastas)

# --- Passo 0: Função para calcular quartis ponderados (sem alteração) ---
def weighted_quantile(values, quantiles, sample_weight=None):
    """ Calcula quantis ponderados. """
```

```

values = np.array(values)
quantiles = np.array(quantiles)
if sample_weight is None:
    sample_weight = np.ones(len(values))
sample_weight = np.array(sample_weight)

sorter = np.argsort(values)
values = values[sorter]
sample_weight = sample_weight[sorter]

weighted_quantiles = np.cumsum(sample_weight) - 0.5 * sample_weight
weighted_quantiles /= np.sum(sample_weight)

return np.interp(quantiles, weighted_quantiles, values)

```

# --- Passo 1: Função principal para processar um único arquivo ---

```
def processar_tabela_e gerar_graficos(filename, output_folder):
```

```
    """
```

```
    Lê uma tabela, calcula estatísticas ponderadas e salva os gráficos em uma pasta específica.
```

```
    """
```

```
    print(f'\n--- Processando arquivo: {filename} ---')
```

```
    try:
```

```
        df = pd.read_excel(filename)
```

```
        print(f'Arquivo '{filename}' carregado com sucesso.")
```

```
    except FileNotFoundError:
```

```
        print(f'ERRO: Arquivo '{filename}' não encontrado. Pulando para o próximo.")
```

```
        return # Encerra a função para este arquivo
```

```
    except Exception as e:
```

```
        print(f'ERRO ao ler '{filename}': {e}. Pulando para o próximo.")
```

```
    return
```

```

# --- Nomes das colunas (ajuste se forem diferentes em algumas tabelas) ---
coluna_valor = 'valor'
coluna_peso_area = 'area em m2'

if not all(col in df.columns for col in [coluna_valor, coluna_peso_area]):
    print(f'ERRO: Colunas '{coluna_valor}' ou '{coluna_peso_area}' não encontradas em
'filename}'. Pulando.")
    return

# --- Calcular Estatísticas Ponderadas ---
stats = {
    'Mínimo': df[coluna_valor].min(),
    'Máximo': df[coluna_valor].max(),
    'Média Ponderada': np.average(df[coluna_valor], weights=df[coluna_peso_area]),
    'Q1 Ponderado (25%)': weighted_quantile(df[coluna_valor], 0.25,
sample_weight=df[coluna_peso_area]),
    'Mediana Ponderada (50%)': weighted_quantile(df[coluna_valor], 0.50,
sample_weight=df[coluna_peso_area]),
    'Q3 Ponderado (75%)': weighted_quantile(df[coluna_valor], 0.75,
sample_weight=df[coluna_peso_area])
}

colors = {
    'Mínimo': 'blue', 'Máximo': 'red', 'Média Ponderada': 'green',
    'Q1 Ponderado (25%)': 'purple', 'Mediana Ponderada (50%)': 'orange', 'Q3 Ponderado
(75%)': 'purple'
}

# --- Gerar e Salvar Gráfico de Densidade ---
plt.figure(figsize=(12, 7))
ax1 = sns.kdeplot(data=df, x=coluna_valor, weights=coluna_peso_area, fill=True, lw=3)
plt.title(f'Distribuição Ponderada pela Área - {output_folder}', fontsize=16)

```

```

plt.xlabel('Altitude', fontsize=12)
plt.ylabel('Densidade', fontsize=12)
for label, value in stats.items():
    ax1.axvline(x=value, color=colors[label], linestyle='--', label=f'{label}: {value:.2f}')
ax1.grid(True, which='both', linestyle='--', linewidth=0.5)
ax1.legend()
plt.tight_layout()
path_densidade = os.path.join(output_folder, 'grafico_densidade.png')
plt.savefig(path_densidade)
plt.close() # Fecha a figura para liberar memória
print(f'Salvo: {path_densidade}')

# --- Gerar e Salvar Histograma ---
plt.figure(figsize=(12, 7))
ax2 = sns.histplot(data=df, x=coluna_valor, weights=coluna_peso_area, bins=30,
kde=True)
plt.title(f'Histograma Ponderado pela Área - {output_folder}', fontsize=16)
plt.xlabel('Altitude', fontsize=12)
plt.ylabel('Área Total na Faixa', fontsize=12)
for label, value in stats.items():
    ax2.axvline(x=value, color=colors[label], linestyle='--', label=f'{label}: {value:.2f}')
ax2.grid(True, axis='y', linestyle='--', linewidth=0.5)
ax2.legend()
plt.tight_layout()
path_histograma = os.path.join(output_folder, 'histograma.png')
plt.savefig(path_histograma)
plt.close() # Fecha a figura
print(f'Salvo: {path_histograma}')

# --- Passo 2: Lista de arquivos para processar e loop principal ---

```



```

arquivos_para_analisar = [
    'declividadetipo1.xlsx',    'declividadetipo2.xlsx',    'declividadetipo3.xlsx',
    'declividadetotal.xlsx',
    'geotipo1.xlsx', 'geotipo2.xlsx', 'geotipo3.xlsx', 'geototal.xlsx',
    'tabela-de-valores-TWI-campos-tipo-1.xlsx', 'tabela-de-valores-TWI-campos-tipo-2.xlsx',
    'tabela-de-valores-TWI-campos-tipo-3.xlsx', 'tabela-de-valores-TWI-campos-total.xlsx',
    'rugosidadetipo1.xlsx', 'rugosidadetipo2.xlsx', 'rugosidadetipo3.xlsx', 'rugosidadetotal.xlsx',
    'hipsometriatipo1.xlsx',    'hipsometriatipo2.xlsx',    'hipsometriatipo3.xlsx',
    'hipsometriatotal.xlsx']

# --- Loop Principal de Automação ---
print("\n>>> INICIANDO ANÁLISE AUTOMATIZADA DE TABELAS <<<")
for arquivo in arquivos_para_analisar:
    # Define o nome da pasta de saída
    nome_base = os.path.splitext(arquivo)[0]
    pasta_saida = nome_base

    # Cria a pasta de saída se ela não existir
    os.makedirs(pasta_saida, exist_ok=True)

    # Chama a função principal
    processar_tabela_e gerar_graficos(arquivo, pasta_saida)

print("\n>>> ANÁLISE FINALIZADA! <<<")
print("Verifique as pastas criadas para visualizar os gráficos.")

```