

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA, GEOCIÊNCIAS E SAÚDE COLETIVA**  
**PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**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**



**Uberlândia- MG**

**2025**

**Lara Luíza Silva**

**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**

Tese de Doutorado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Geografia  
– PPGeo – UFU, como requisito para  
obtenção do título de Doutor (a) em  
Geografia, sob orientação do(a) Prof.(a)  
Dr.(a) Silvio Carlos Rodrigues.

Área de concentração: Estudos Ambientais  
e Geotecnologias

**Uberlândia, 2025**

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S586 2025	<p>Silva, Lara Luiza, 1997- 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 [recurso eletrônico] / Lara Luiza Silva. - 2025.</p> <p>Orientador: Silvio Carlos Rodrigues. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Geografia. Modo de acesso: Internet. Disponível em: <a href="http://doi.org/10.14393/ufu.te.2025.297">http://doi.org/10.14393/ufu.te.2025.297</a> Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Geografia. I. Rodrigues, Silvio Carlos, 1965-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós- graduação em Geografia. III. Título.</p> <p>CDU: 910.1</p>
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1H, Sala 1H35 - Bairro Santa Monica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4381/3291-6304 - www.ppgeo.ig.ufu.br - posgeo@ufu.br


**ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO**

Programa de Pós-Graduação em:	GEOGRAFIA				
Defesa de:	Tese de Doutorado Acadêmico, Número <a href="#">289</a> , PPGGEO				
Data:	<a href="#">22 de abril de 2025</a>	Hora de início:	08h:00min.	Hora de encerramento:	12h:00min.
Matrícula do Discente:	<a href="#">12113GEO009</a>				
Nome do Discente:	LARA LUIZA SILVA				
Título do Trabalho:	MICRORRELEVOS DO CERRADO BRASILEIRO: INFLUÊNCIA DOS ASPECTOS PAISAGÍSTICOS NOS PROCESSOS DE FORMAÇÃO E CONSTITUIÇÃO DOS CAMPOS DE MURUNDUNS DO CHAPADÃO DO DIAMANTE - SERRA DA CANASTRA - MG				
Área de concentração:	DINÂMICAS TERRITORIAIS E ESTUDOS AMBIENTAIS				
Linha de pesquisa:	ESTUDOS AMBIENTAIS E GEOTECNOLOGIAS				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	CNPQ - Processo: 403412/2023-4 Título: Análise da Evolução do Relevo da área das nascentes do Rio São Francisco na Serra da Canastra e entorno				

Reuniu-se no Campus Santa Mônica (Online - [conferenciaweb.rnp.br](https://conferenciaweb.rnp.br)), no Instituto de Geografia, Geociências e Saúde Coletiva (IGESC) da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em [GEOGRAFIA](#), assim composta: Professores Doutores: [Fabio Soares de Oliveira - UFMG-MG](#); [Thallita Isabela Silva Martins Nazar - UFCAT-GO](#); [Antônio Avelino Batista Vieira - UMINHO-PORTUGAL](#); [Alan Silveira - IGESC-UFU](#) e [Sívio Carlos Rodrigues - IGESC-UFU](#) orientador(a) do(a) candidato(a). Os membros participaram de forma remota.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, [Professor Sívio Carlos Rodrigues - IGESC-UFU](#), apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta ocorreram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

**Aprovada.**

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de [Doutora](#).

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente Ata que após lida foi assinada pela Banca Examinadora.





Documento assinado eletronicamente por **Silvio Carlos Rodrigues, Professor(a) do Magistério Superior**, em 22/04/2025, às 12:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **THALLITA ISABELA SILVA MARTINS NAZAR, Usuário Externo**, em 22/04/2025, às 12:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alan Silveira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 22/04/2025, às 12:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Antônio Avelino Batista Vieira, Usuário Externo**, em 23/04/2025, às 14:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabio Soares de Oliveira, Usuário Externo**, em 27/04/2025, às 16:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **6152150** e o código CRC **143563C4**.

## **AGRADECIMENTOS**

Se cheguei até aqui, foi porque tive ao meu lado pessoas incríveis que tornaram essa jornada possível. Sei que todo sucesso que eu alcançar na vida será fruto do apoio e da inspiração daqueles que, como gigantes, me sustentaram e impulsionaram. Esta foi, sem dúvida, a experiência mais desafiadora que já vivi, mas também a que mais me fez crescer e aprender, contribuindo profundamente para minha formação pessoal e profissional. E sei que este é apenas o começo de um longo caminho. Hoje, com gratidão no coração, dedico este momento a todos que fizeram parte dessa trajetória.

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, meu Pai celestial, que, mesmo do alto, sempre esteve ao meu lado, guiando meus passos com suavidade e sabedoria. Sou grata por seu amor infinito, por sua presença em cada instante e por tudo o que tem feito em minha vida. Sem Ele, nada seria possível.

Agradeço a toda equipe espiritual que sempre me conduziu e fortaleceu nos momentos em que pensei que não conseguiria seguir em frente. Em especial, ao senhor Eurípedes, que tantas vezes segurou minhas mãos e me amparou com sua luz e sabedoria. Minha eterna gratidão!

A toda minha família que se fez porto seguro em toda essa jornada, meu mais sincero agradecimento. Em especial a minha mãe de coração Rosely que me acolheu em sua vida para guiar, e é responsável pelo que me tornei hoje, sua dedicação ao crescimento dos filhos e seu apoio incondicional são expressões puras de amor, e sou imensamente grata por isso. Aos meus irmãos Laura, Carlos, Ana Laura, Marília e Marco por todo apoio e por caminharem comigo nessa trajetória. E aos meus pais, Simone e André, que me deram o bem mais precioso: a vida. Amo vocês profundamente!

Ao meu orientador, Silvio Carlos Rodrigues, minha profunda gratidão. Sua orientação e ensinamentos foram fundamentais, não apenas para minha jornada acadêmica, mas também para minha vida. Com seu exemplo e dedicação, influenciou diretamente meu caminho, oferecendo incentivo, ampliando horizontes e mostrando possibilidades que se tornaram essenciais para meu futuro profissional. Obrigada por acreditar em mim e por abrir tantas portas ao longo dessa caminhada!

Agradeço a todos os professores que, em algum momento da minha vida, estiveram presentes, desde a infância até hoje, cada um de vocês fez a diferença, compartilhando não apenas conhecimento, mas também seus preciosos ensinamentos, que levarei comigo para sempre. Dedico também um agradecimento especial aos professores Antonio Vieira, Thallita Nazar, Alan Silveira e Fabio Soares, pela participação e contribuição na minha defesa, e ao professor David, pelo auxílio constante em todas as etapas, além do apoio em minha vida pessoal. Minha mais profunda admiração e Gratidão a todos vocês!

Aos amigos de curso e de laboratório. Vocês são aqueles que estiveram ao meu lado dia após dia, compartilhando desafios, conquistas e aprendizados. Seja ajudando nas dúvidas, na pesquisa, nos trabalhos de campo ou simplesmente com palavras de incentivo, cada um de vocês fez a diferença nessa trajetória. Sou imensamente grata por tê-los comigo!

Aos amigos que a vida me presenteou ao longo do caminho, com vocês, cada passo se tornou mais leve e significativo. Agradeço a toda a equipe do Grupo Espírita Paulo de Tarso, a equipe da Escola Centro Educacional Eurípedes Barsanulfo e à equipe de funcionários da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Foram muitas as pessoas que, dentro e fora da Universidade, estiveram presentes nesta jornada, contribuindo de diversas formas, reconheço e valorizo cada gesto de apoio e carinho, minha gratidão a todos vocês!

Também deixo meu agradecimento ao meu grande amor, a pessoa mais importante que estive ao meu lado em todas as minhas conquistas e foi essencial para que cada uma delas se tornasse realidade. Jefferson, você me ajudou com todo o seu coração, foi meu companheiro incansável, participando de cada etapa deste trabalho e se desdobrando em esforços para me apoiar. Depois de cada dia exaustivo, foi em você que encontrei abrigo e paz para recomeçar. Seu incentivo constante, seus gestos cheios de significado e seu exemplo me ensinam diariamente, me fazem crescer e desejar ser melhor a cada dia. Sou eternamente grata por tudo!

Por fim, agradeço a FAPEMIG pela bolsa de estudos e pelo financiamento parcial da pesquisa pelo CNPQ, Bolsa PQ 302924/2019-1 e Universal 403412/2023-4 e Projeto CAPES/UFU/PRINT88887.311520/2018-00.

## RESUMO

Os campos de murundus são microrrelevos do Cerrado caracterizados por pequenas elevações de solo, cuja origem e evolução estão associadas a processos geomorfológicos, hidrológicos e biológicos. Esses ambientes possuem importância ecológica e hidrológica, sendo fundamentais para a manutenção da biodiversidade, regulação hídrica e ciclagem de nutrientes. No entanto, a conversão do Cerrado para atividades agropecuárias e expansão urbana tem ameaçado essas formações, tornando necessário o aprofundamento de estudos que contribuam para sua conservação. Diante disso, este estudo teve como objetivo analisar a formação, distribuição e funções ecossistêmicas dos campos de murundus no Chapadão do Diamante, localizado no Parque Nacional da Serra da Canastra – MG, buscando compreender sua relação com processos geomorfológicos, pedológicos e biológicos. A pesquisa foi desenvolvida com base em levantamentos de campo e análises laboratoriais. Foram realizadas coletas de amostras de solo para análises granulométricas, texturais e químicas, além do mapeamento morfológico das feições murundus. Paralelamente, foram observadas as interações bióticas, especialmente a presença de térmitas e sua influência na formação e modificação do solo. Os resultados indicam que os campos de murundus desempenham papel crucial na dinâmica hidrológica da região, influenciando a infiltração e retenção de água no solo, além de apresentarem solos com características diferenciadas em relação às áreas adjacentes. A bioturbação promovida pelas térmitas mostrou-se um fator determinante na formação e evolução dessas estruturas, promovendo a redistribuição de nutrientes e influenciando a estruturação do solo. A vegetação encontrada nos murundus se distingue da vegetação circundante, evidenciando sua relevância como refúgio para espécies adaptadas a condições específicas de umidade e fertilidade diferenciadas. A pesquisa reforça a importância da conservação dos campos de murundus, destacando sua função na regulação ambiental e no equilíbrio ecológico do Cerrado. Embora protegidos dentro do Parque Nacional da Serra da Canastra, ainda há carência de conhecimento sobre essas feições, o que justifica a necessidade de mais estudos voltados para a preservação e o manejo adequado desses ambientes. Os achados deste estudo contribuem para a ampliação do conhecimento geomorfológico e ecológico do Cerrado, fornecendo subsídios para a implementação de políticas de conservação e estratégias de gestão sustentável dos campos de murundus.

**Palavras-chave:** Cerrado, Campos de Murundus, Geomorfologia, Bioturbação, Serra da Canastra, Conservação Ambiental.

## ABSTRACT

Murundus fields are microreliefs of the Cerrado characterized by small soil elevations, whose origin and evolution are associated with geomorphological, hydrological, and biological processes. These environments have ecological and hydrological significance, playing a fundamental role in biodiversity maintenance, water regulation, and nutrient cycling. However, the conversion of the Cerrado for agricultural and urban expansion has threatened these formations, highlighting the need for further studies to support their conservation. Given this, the present study aimed to analyze the formation, distribution, and ecosystem functions of murundus fields in Chapadão do Diamante, located in the Serra da Canastra National Park, MG, seeking to understand their relationship with geomorphological, pedological, and biological processes. The research was conducted through field surveys and laboratory analyses. Soil samples were collected for granulometric, textural, and chemical analyses, along with morphological mapping of murundus features. Additionally, biotic interactions were observed, particularly the presence of termites and their influence on soil formation and modification. The results indicate that murundus fields play a crucial role in the region's hydrological dynamics, influencing water infiltration and retention in the soil, and exhibit distinct soil characteristics compared to adjacent areas. Bioturbation by termites was found to be a determining factor in the formation and evolution of these structures, promoting nutrient redistribution and affecting soil structuring. The vegetation found on murundus differs from the surrounding vegetation, highlighting their importance as refuges for species adapted to specific moisture and fertility conditions. This research reinforces the importance of conserving murundus fields, emphasizing their role in environmental regulation and the ecological balance of the Cerrado. Although protected within the Serra da Canastra National Park, there is still a lack of knowledge about these features, justifying the need for further studies focused on their preservation and proper management. The findings of this study contribute to expanding geomorphological and ecological knowledge of the Cerrado, providing a basis for the implementation of conservation policies and sustainable management strategies for murundus fields.

**Keywords:** Cerrado, Murundus Fields, Geomorphology, Bioturbation, Serra da Canastra, Environmental Conservation.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	24
1.1	Hipótese .....	27
1.2	Justificativa .....	27
2	OBJETIVOS.....	29
2.1	Objetivo Geral.....	29
2.2	Objetivos específicos .....	29
3	ÁREA DE ESTUDO .....	31
3.1	Breve histórico do Parque .....	31
3.2	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA .....	33
3.2.1	Contexto Geológico .....	33
3.2.2	Relevo .....	35
3.2.3	Solos .....	36
3.2.4	Geocoberturas .....	38
3.2.5	Clima e Hidrografia .....	42
3.2.6	Vegetação .....	43
4	REFERENCIAL TEÓRICO .....	47
4.1	Fisiologia da Paisagem .....	47
4.2	Tipos de Microrrelevo na Forma de Montes .....	49
4.3	Caracterização de Campos de Murundus.....	66
4.4	Diferença de Murundus e Termiteiros .....	69
4.5	Teorias de Formação de Campos de Murundus.....	71
4.6	Distribuição Geográfica e Datações .....	76
4.7	Biodiversidade e Composição Vegetal .....	81
4.8	Pedofauna.....	84
4.8.1	Biologia Das Térmitas (Cupins).....	86
4.8.2	Térmitas Como Agentes de Modificação do Relevo.....	91

4.9	Bioturbação .....	91
4.9.1	Impacto dos cupins na formação de perfis de solo e translocação de solo.....	95
4.9.2	Ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo .....	97
4.9.3	Influência de cupins na dinâmica hídrica do solo.....	100
4.10	Importância da Conservação dos Campos De Murundus .....	102
5	MATERIAIS E METODOS .....	107
5.1	Coleta de Amostras de Solo para Análises Química, Granulométrica e Textural .....	110
5.2	Procedimentos Laboratoriais .....	113
5.2.1	Análise de cor através da Carta de Munsell .....	113
5.2.2	Procedimentos para análise granulométrica por peneiramento .....	115
5.2.3	Textura.....	119
5.2.4	Química .....	123
6	RESULTADOS .....	126
6.1	PONTO AMOSTRAL 1 .....	126
6.1.1	Distribuição na Paisagem e Características Vegetativas .....	126
6.1.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO P1 .....	129
6.1.3	Comparação física do solo do murundu e entre murundu .....	133
6.1.4	Matizes do solo.....	135
6.1.5	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS P1 .....	136
6.1.6	Sistematização .....	140
6.2	PONTO AMOSTRAL 2 .....	140
6.2.1	Distribuição na Paisagem e Características Vegetativas .....	140
6.2.2	Matizes do solo.....	148
6.2.3	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO P2 .....	149
6.2.4	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO P2 .....	154
6.2.5	Sistematização .....	157



6.3	PONTO AMOSTRAL 3 .....	158
6.3.1	Distribuição na Paisagem e Características Vegetativas .....	158
6.3.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO P3 .....	162
6.3.3	Matizes do solo .....	167
6.3.4	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO P3 .....	168
6.3.5	Sistematização .....	170
6.4	PONTO AMOSTRAL 4 .....	171
6.4.1	Distribuição na Paisagem e Características Vegetativas .....	171
6.4.2	Matizes do solo .....	176
6.4.3	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO P4 .....	177
6.4.4	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS P4 .....	181
6.4.5	Sistematização .....	183
6.5	PONTO AMOSTRAL 5 .....	184
6.5.1	Distribuição na Paisagem e Características Vegetativas .....	184
6.5.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO P5 .....	189
6.5.3	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS P5 .....	193
6.5.4	Sistematização .....	196
6.6	PONTO AMOSTRAL 6 .....	196
6.6.1	Distribuição na Paisagem e Características Vegetativas .....	196
6.6.2	CARACTERÍSTICAS DO FÍSICAS DO SOLO P6.....	202
6.6.3	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS P6 .....	206
6.6.4	Sistematização .....	208
7	DISCUSSÕES .....	211
7.1	Características físicas gerais dos solos de murundus e áreas adjacentes .....	211
7.2	Características químicas gerais dos solos de murundus e áreas adjacentes...	212
7.3	Apontamentos sobre a Gênese e Dinâmica de formação dos murundus na Serra da Canastra.....	214

7.4	Padrões paisagísticos e características recorrentes nos Campos de Murundus do Chapadão do Diamante .....	218
7.5	Relação entre a Dinâmica de Fluxos hídricos e a Distribuição dos Campos de Murundus .....	219
7.6	Relação entre as formas de relevo e a ocorrência de Campos de Murundus no Chapadão do Diamante .....	223
7.7	A influência da litologia e solos na distribuição dos Campos de Murundus .	224
7.8	Elementos ambientais preponderantes para formação dos Campos de Murundus do Chapadão do Diamante .....	225
7.9	Camada de Cascalhos .....	228
7.10	Camada de Concreções Ferruginosas .....	231
7.11	Camadas de Concreções Ferruginosas cimentadas (Cangas) .....	234
7.12	Vegetação específica dos Sistemas Murundus do Chapadão do Diamante...	237
7.13	Função ecológica dos Campos de Murundus .....	244
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	250
9	REFERÊNCIAS .....	252

## Lista de Figuras

Figura 1: Mapa de localização do chapadão do Diamante .....	32
Figura 2: Escarpas quartzíticas presentes na região .....	33
Figura 3: Compartimentação geotectônica do Brasil .....	34
Figura 4: Gráfico da distribuição dos padrões de relevo no Chapadão do Diamante .....	36
Figura 5: Mapa Geocoberturas .....	41
Figura 6: Porcentagem da distribuição das Geocoberturas no Chapadão do Diamante .....	42
Figura 7: Vegetação rupestre Serra da Canastra .....	44
Figura 8: Abordagem integrada de entendimento da paisagem .....	49
Figura 9: Mapa de ocorrência dos círculos de fadas. (2) círculos de fadas em fase de precipitação e em fases após meses de chuva. (3) cinturão perene com grama mais longa em volta dos círculos e imagem de satélite – Namíbia .....	51
Figura 10: Círculos típicos causados por cupins colhedores ( <i>Drepanotermes</i> ) em Jigalong Road, na Austrália Ocidental (a, b, f). Estrutura de ninho de cupins colhedores mais pronunciada (d, e). Outro exemplo comum de cupins no Parque Nacional Karijini, na Austrália Ocidental (c).....	52
Figura 11: Média dos possíveis agentes formadores do heuweltjies.....	54
Figura 12: (A/B) Colônia de térmita em um microrrelevos de heuweltjies a oeste da África do Sul (a/b) Área exibindo a dispersão espacial dos heuweltjies com diâmetro aproximadamente de 30 cm e altura de 1 metro.....	55
Figura 13: Fotografias obtidas por JR McAuliffe em 2012 e 2016 retiradas na África do Sul (a) restos de uma colmeia subterrânea (b) cavidade desintegrada que continha ninho (c e d) monte localizado a 10km de Nuwerus, Western Cape, África do Sul, solo mais escuro indicando material expelido recentemente pelos cupins (e) monte cônico de <i>M. viator</i> (f) monte que havia sido atacado por porco – da – terra. ....	56
Figura 14: Localização dos heuweltjies à Oeste da África do sul incluindo a fronteira Sul da Namíbia. Nesses pontos a teoria de formação dos heuweltjies são por cupins <i>Microhodotermes viator</i> .....	57
Figura 15: Formação de Gilgai em solos argilosos passando por períodos secos (Dry gilgai 1) e períodos de umidade (Wet gilgai). ....	58
Figura 16: Paisagem surales no Orinoco Llanos (A) vista de cima (B) nível do solo.....	60
Figura 17: Esquema representativo do papel das minhocas na pedogênese. ....	60
Figura 18: Solos poligonais. (a) Colina Mugi – Monte Quênia Fonte: Baker (1967) (b) Montanha Bridlicna, Hruby Jeseník Mts, República Checa. (c) Península de Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima. ....	61
Figura 19: Modelo 3D do desenvolvimento de uma avalanche de gelo e suas repercussões durante sua evolução. ....	62

Figura 20: Esquema da oscilação do lençol freático nos murundus do Cerrado durante a estação seca e chuvosa. ....	68
Figura 21: (a) lençol freático elevado continuamente (b) variações sazonais do lençol freático. ....	69
Figura 22: Comparação entre microrrelevos: (1) Térmita (2) Murundu. ....	70
Figura 23: Distribuição e características dos murundus segundo Furley, 1986 em localização do tipo cabeceira sem presença de térmitas. ....	73
Figura 24: Processo de erosão diferencial como hipótese para formação dos murundus segundo Batista et al. 2013. ....	74
Figura 25: Modelo explicativo para formação de estruturas de murundus com participação das térmitas. ....	75
Figura 26: Presença de cupinzeiros <i>Syntermes dirus</i> no Nordeste Brasileiro e relevo formado pela construção de tuneis e escavações. ....	79
Figura 27: Lista florística encontrada nos campos de murundus localizada no Pantanal de Poconé na Fazenda São Sebastião no Mato Grosso, “N” indica o número de indivíduos e “FA” a frequência absoluta. ....	82
Figura 28: Registros florísticos obtidos através do método de caminhada na região do sudoeste de Goiás (A) a. <i>Aquiroclina alata</i> ; b. <i>Ayapana amigdalina</i> ; c. <i>Bidens segetum</i> a; d. <i>Chromolaena laevigata</i> ; e. <i>Chresta sphaerocephala</i> ; f. <i>Clibadium armani</i> ; g. <i>Chromolaena maximiliani</i> ; h. <i>Mikania cordifolia</i> . ....	83
Figura 29: Classificação dos tamanhos dos organismos terrestres. ....	85
Figura 30: Efeito dos animais no solo. ....	86
Figura 31: Árvore filogenética gerada a partir da análise de características moleculares e morfológicas, os Isoptera (cupins) são colocados dentro dos Blattodea (baratas). ....	87
Figura 32: Divisão de castas de cupins. ....	88
Figura 33: Cupins durante a construção do montículo (A) Cupins atraídos para locais onde outros indivíduos depositaram partículas de solo levando a produção de pilares. Ação essa que leva à extensão de pilares em paredes (B) e (C) Uma imagem macroscópica da construção. ....	90
Figura 34: Representação ilustrativa da bioturbação de partículas de solos por diferentes tipos de animais escavadores incluindo as térmitas. ....	93
Figura 35: Esquema representativo das taxas de deslocamento de solo (ações de turnover) e formação de solo por diferentes espécies. ....	96
Figura 36: Fluxograma das atividades realizadas no estudo. ....	109
Figura 37: Localização dos pontos amostrais. ....	111
Figura 38: (A/B) Coleta com uso de trado holandês (C) Medição de alturas e diâmetros dos murundus. ....	112

Figura 39: Procedimento para se obter a coloração do solo através da carta de Munsell. Observação: Nesta análise é importante umidificar o solo caso ele esteja seco para melhor visualização da cor. ....	114
Figura 40: Almofariz e mão de gral para destorroamento do solo. ....	116
Figura 41: (a) mesa agitadora utilizada para dispersão das amostras (b) Solução de NaOH (soda cáustica + água destilada) sendo colocada nos vasilhames com a amostra.....	116
Figura 42: Agitador elétrico de peneiras. ....	117
Figura 43: (a) Separação das amostras por cada peneira, antes de pesar é necessário tirar todos os materiais que ficaram presos na peneira e transpor para as cápsulas de porcelana para posterior pesagem (b). ....	118
Figura 44: (a) Disposição das amostras nos vasilhames previamente identificados (b) mesa agitadora com as 20g de amostras em cada pote.....	120
Figura 45: (a) Procedimento de lavagem da amostra separando a areia que fica retida na peneira da argila e silte (b) Destinação do material (areia) retido para as cápsulas de porcelana, para em seguida ir para a estufa (c).....	121
Figura 46: Organização das provetas em processo de decantação por 4h.....	121
Figura 47: Disposição das cápsulas de porcelana após secagem na estufa (a) cápsulas com areia (b) cápsulas com argila.....	122
Figura 48: Triângulo textural utilizado para determinação da textura do solo.....	123
Figura 49: Equipamentos para realização das análises químicas. ....	123
Figura 50: Amostras de solo preparadas para análise química.....	124
Figura 51: Croqui vertente de estudo p1. ....	126
Figura 52: Paisagem dos campos de murundus ponto 1. ....	127
Figura 53: Morfologia estrutural capim flechinha. ....	128
Figura 54: Área de campo de murundus. (a/b) Condição vegetativa local no entre chuvas (a) vegetação avançando a térmita (setembro de 2023) (c/d) Característica paisagística local em período chuvoso (fevereiro de 2024). ....	128
Figura 55: Triângulo textural P1M em diferentes profundidades. ....	130
Figura 56: Triângulo textural P1E em diferentes profundidades. ....	132
Figura 57: Camada de cascalho presente no local com extensão de 40cm. ....	134
Figura 58: Cangas com cascalhos aparentes. ....	135
Figura 59: Vertente de estudo ponto 2. ....	140
Figura 60: Paisagem dos campos de murundus ponto 2. ....	141
Figura 61: Lagoa temporária observada no ponto 2 em épocas de alta pluviosidade. ....	142
Figura 62: Croqui representativo do Ponto 2 com lagoa temporária ao centro circundada dos morrotes de murundu ....	143
Figura 63: Variação sazonal do local (a/c) setembro de 2023 (b/d) fevereiro de 2024.....	144

Figura 64: Incêndio local durante o mês de setembro, nota-se o maior impacto do fogo na superfície entre os murundus, sendo os morrotes mais preservador de sua ação.....	145
Figura 65: Ação de chafurdamento de javalis em diferentes meses evidenciando a exposição do solo.....	146
Figura 66: Foto área do ponto, com 45 murundus contabilizados. ....	147
Figura 67: Colônias de térmitas com diferentes colorações e condições (a/b/c) ninho com presença ativa de cupins (d) ninho com presença de fezes de pássaros indicando seu uso por distintas faunas e diferentes colorações (e/d) ninho de térmita com atividade ativa. ....	148
Figura 68: Triângulo textural P2M em diferentes profundidades. ....	151
Figura 69: Triângulo textural P2E em diferentes profundidades. ....	153
Figura 70: Vertente do ponto 3. ....	158
Figura 71: (a) termiteiro destruído por tamanduá (b) colônias ativas e recém-formadas nos solos residuais de antigas colônias .....	159
Figura 72: Sazonalidade notado ao longo dos meses no ponto 3.....	160
Figura 73: Recuperação vegetativa nos campos de murundus após episódios de queima. ....	161
Figura 74: Camada superficial afetada pela ação do fogo nos meses entre chuvas. ....	162
Figura 75: Triângulo textural P3M todas as profundidades resultaram em textura argilosa.....	163
Figura 76: Triângulo textural P3E em diferentes profundidades.....	166
Figura 77: Vertente ponto 4. ....	171
Figura 78: Paisagem da área amostral ponto 4, presença de térmita consolidada e térmita desfeita por alguma ação local.....	172
Figura 79:(a) Vegetação riparia ao fundo do vale do ponto, seta preta (b) vegetação arbustiva avançando sobre o ninho de térmita. ....	173
Figura 80: Presença de erosão no campo de murundu ocasionada pela fauna e intensificada pela umidade, novembro de 2022. ....	174
Figura 81: Degradação nos ninhos locais (a/d) indicação de ninhos ativos com a presença de cupins e ovos de cupins nos ninhos (b/c) Representação ampliada da aparência dos ovos de cupins. (e/f).....	175
Figura 82: Presença de cangas lateríticas e concreções em toda a superfície do solo do ponto 4, onde (c) mostram também alguns cascalhos soltos. ....	177
Figura 83: Triângulo textural P4M em diferentes profundidades. ....	178
Figura 84: Triângulo textural P4E em diferentes profundidades. ....	180
Figura 85: Paisagem ponto 5 setembro de 2023.....	185
Figura 86: Vertente ponto 5. ....	186
Figura 87: Paisagem do campo de murundus.....	186
Figura 88: Processo de finalização de termiteiros e início de murundu, fotos retiradas no mesmo local em diferentes meses (a) 2022 (b) 2023 após queima e chuva. ....	187

Figura 89: (A) Processo de formação dos montículos de murundus com a presença de ninhos antigos degradados em cores mais alaranjadas e formação recente de novos ninhos ativos indicado pela caneta azul (B) Ninho recente em formação, destacado por pontilhados vermelhos, e ninho antigo, agora integrado ao microrrelevo do murundu, marcado em amarelo.....	188
Figura 90: Triângulo textural P5M em diferentes profundidades. ....	190
Figura 91: Triângulo textural P5E em diferentes profundidades. ....	192
Figura 92: Vertente ponto 6. ....	197
Figura 93: Paisagem geral ponto 6 com representação esquemática novembro de 2022, ao fundo presença de escarpa. ....	197
Figura 94: Vegetação de “sempre-viva” após queima em setembro de 2023. ....	198
Figura 95: Diferentes características vegetativas locais advindas das condições ambientais (a/b) mesmo ângulo da fotografia em meses diferentes (a) setembro 2023 após incidência do fogo (b) fevereiro de 2024 vegetação se recompondo. (c/d) junho de 2023 poucos meses antes da queimada no local. ....	199
Figura 96: Vegetação recomposta em fevereiro de 2024 após queimada no ano anterior, vegetação apresentando arbustos em crescimento. ....	200
Figura 97: Triângulo textural P6M em diferentes profundidades. ....	203
Figura 98: Triângulo textural P6E todas as profundidades resultaram em textura argilosa. ....	205
Figura 99: Evidências de bioturbação por térmitas no interior de um murundu seccionado em duas metades no Chapadão do Diamante. Câmaras de antigos ninhos e tuneis. ....	216
Figura 100: Perfil em morrote de murundu. Evidências de antigas colônias no interior de um murundu. ....	217
Figura 101: Atividade biológica da pedofauna. Térmitas. ....	218
Figura 102: Localização dos pontos de coletas representando a proximidade das zonas úmidas no fundo de vale de cada vertente destacando em amarelo à direção de escoamento da água superficial. ....	220
Figura 103: Formação dos Murundus ao Longo do Tempo. A figura ilustra o processo de degradação de um ninho de cupim, que atualmente contribui para a incorporação de solo na formação de novos murundus (C). Além disso, evidencia a criação de novos ninhos sobre os remanescentes de ninhos antigos já desfeitos.....	222
Figura 104: Porcentagem da área total coberta por campos de murundus no sudoeste de Goiás em relação às Classes de Declividade. ....	224
Figura 105: Bloco ilustrativo representando camada de cascalho presente nos campos de murundu, com representação da superfície do solo do ponto 5 com presença de cascalhos. ....	228
Figura 106: Características dos solo de murundus e estruturas Geomorfológicas no Chapadão do Diamante com destaque para a camada de cascalhos presente superficialmente em todos os pontos (a,b,c) e cascalhos encontrados dentro dos montes de murundus em P1M (d). ....	230



Figura 107: Presença de concreções (A e B) e cangas ferruginosas na superfície dos campos de murundus (C). .....	231
Figura 108: Horizontes de perfil de solo (A) com indicação de camada superficial composta por cascalhos lateríticos (B) e cascalhos lateríticos arredondados (C). .....	232
Figura 109: Presença de camada de Canga no Ponto 2 da área de estudo. ....	234
Figura 110: Presença de Cangas Ferruginosas (A) Cascalhos Lateríticos (B) Vegetação de Gramíneas em meio a essas formações (C). .....	235
Figura 111: Representação hipotética do ciclo de formação das paisagens de cangas do quaternário. ....	236
Figura 112: Representação da vegetação dos campos de murundus (a- p6), (b- p4), (c/d/e- p2) com espécies herbáceas, arbustivas e lenhosas. ....	238
Figura 113: Melinis minutiflora, popularmente conhecida como capim-melão encontrada em campos de murundus. ....	240
Figura 114: Espécie de Sempre viva encontrada nos pontos de análise após episódio de queima nos campos de murundus. ....	241
Figura 115: Relação mútua de coabitação entre vegetação e ninhos de cupins. ....	242
Figura 116: Levantamento das espécies vegetativas encontradas no ponto 2. ....	243
Figura 117: Levantamento fotográfico das espécies vegetativas de maior ocorrência nos campos dos seis pontos coletados. ....	244
Figura 118: Ninho de térmitas recente sobre superfície de cascalhos lateríticos nos pontos analisados. ....	245
Figura 119: Diversidade da Fauna encontrada nos campos de murundus. ....	246
Figura 120: Tocas de animais em ninhos de térmitas. ....	246
Figura 121: Diversidade da Fauna dos campos de murundus (A e E) Veado-campeiro (Ozotoceros bezoarticus) (B) Lobo-guará (Chrysocyon brachyurus) (C e D) Tamanduá-bandeira (Myrmecophaga tridactyla) (F) Cupinzeiro com presença de espécie de cobra não identificada .....	247
Figura 122: Paisagem dos Campos de Murundus do Chapadão do Diamante, evidenciando a disposição dos montículos e sua importância ecológica. ....	248

## Lista de Quadros

Quadro 1: Classificação dos solos encontrados no Chapadão do Zagaia (área próxima ao Chapadão do Diamante).....	37
Quadro 2: Classes de materiais encontrados no Chapadão do Diamante.....	39
Quadro 3: Quadro das publicações sobre as principais teorias relacionadas aos círculos de fadas .....	53
Quadro 4: Quadro das publicações sobre as principais teorias relacionadas aos microrrelevos. 63	
Quadro 5: Nomenclaturas das frações de tamanho de partículas com base em seus diâmetros.115	
Quadro 6: Caracterização de cor do solo (Notação Munsell).....	136
Quadro 7: Caracterização de cor do solo (Notação Munsell).....	149
Quadro 8: Caracterização de cor do solo (Notação Munsell).....	167
Quadro 9:Caracterização de cor do solo (Notação Munsell).....	176
Quadro 10: Caracterização de cor do solo (Notação Munsell).....	189
Quadro 11:Caracterização de cor do solo (Notação Munsell).....	201
Quadro 12: Condicionantes naturais da distribuição espacial dos campos de murundus no Chapadão do Diamante – Serra da Canastra – MG.....	225

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Separações das frações granulométricas. ....	117
Tabela 2:Características químicas das amostras P1 em cima (topo) P1m e entre murundus (entre) P1. ....	137
Tabela 3: Características químicas das amostras P2 em cima (topo) P2m e entre murundus (entre) P2e.....	155
Tabela 4: Características químicas das amostras P3 em cima (topo) P3m e entre murundus (entre) P3e.....	168
Tabela 5: Características químicas das amostras P4 em cima (topo) P4m e entre murundus (entre) P4e.....	181
Tabela 6: Características químicas das amostras P5 em cima (topo) P5m e entre murundus (entre) P5e.....	193
Tabela 7:Características químicas das amostras P6 em cima (topo) P6m e entre murundus (entre) P6e.....	206

## Lista de Gráficos

Gráfico 1: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 1M – Amostra coletada sobre murundu.	130
Gráfico 2: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 1 sobre murundu (P1M).	131
Gráfico 3: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 1E – Amostra coletada entre murundus.	132
Gráfico 4: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 1 entre murundus (P1E).	133
Gráfico 5: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 2 – Amostra coletada sobre murundus (P2M).	150
Gráfico 6: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 2 sobre murundus (P2M).	152
Gráfico 7: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 2E – Amostra coletada entre murundus.	153
Gráfico 8: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 2 entre murundus (P2E).	154
Gráfico 9: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 3 – Amostra coletada sobre murundus (P3M).	163
Gráfico 10: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 3 sobre murundus (P3M).	164
Gráfico 11: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 3E – Amostra coletada entre murundus.	165
Gráfico 12: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 3 entre murundus (P3E).	167
Gráfico 13: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 4 – Amostra coletada sobre murundus (P4M).	178
Gráfico 14: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 4 sobre murundus (P4M).	179
Gráfico 15: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 4E – Amostra coletada entre murundus.	180
Gráfico 16: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 4 entre murundus (P4E).	181
Gráfico 17: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 5 – Amostra coletada sobre murundus (P5M).	190
Gráfico 18: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 5 sobre murundus (P5M).	191

Gráfico 19: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 5 – Amostra coletada entre murundus (P5E). .....	192
Gráfico 20: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 5 entre murundus (P5E). .....	193
Gráfico 21: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 6 – Amostra coletada sobre murundus (P6M). .....	202
Gráfico 22: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 6 sobre murundus (P6M). .....	203
Gráfico 23: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 6E – Amostra coletada entre murundus. ....	204
Gráfico 24: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 6 entre murundus (P6E). .....	205

---

## *INTRODUÇÃO*

---



*“Todas as flores do futuro estão nas sementes de hoje.” (Provérbio Chinês)*

## 1 INTRODUÇÃO

A paisagem conjuga o tempo, retomando o passado, apresentando o presente e apontando o futuro, é indissociável e está em constante evolução. Sua análise é resultado da interação de vários fatores, tais como: exploração biológica, potencial ecológico e utilização antrópica (Bertrand, 1969).

Para Ab'Saber (1958), é importante entendê-la como uma herança temporal de processos bióticos e abióticos, com potencial de influenciar os ecossistemas perturbados pelas variações climáticas. Para Santos (2002), é resultado das sucessivas relações entre sociedade e natureza. Assim, a paisagem pode ser compreendida como um registro espaço-temporal sistêmico, passível de análise quanto às mudanças decorrentes da evolução natural, bem como das intervenções humanas.

As paisagens são formadas por uma interação complexa de elementos naturais e humanos que moldam a aparência de uma determinada área geográfica. Os elementos formadores da paisagem incluem, dessa forma, agentes geológicos, tectônicos, climáticos, atmosféricos, biológicos e humanos. Nesse contexto, as paisagens podem ser classificadas por diferentes abordagens. No território nacional, uma dessas abordagens é a concepção de bioma adotada no presente trabalho (IBGE, 2004; MMA, 2011).

O território brasileiro abriga seis biomas terrestres, cada um com características únicas associadas a fitofisionomias distintas. Considerado o segundo maior bioma da América do Sul e do Brasil, o Cerrado é conhecido como savana tropical, possuindo relações ecológicas com outras savanas da América tropical e continentes como Austrália, África e Sudeste da Ásia. Apresenta alta diversidade e é considerado um dos 25 “*hotspots*” do mundo (Cole, 1958, 1960, 1986; Myers et al. 2000).

O Cerrado é um dos biomas mais diversos do Brasil e do mundo, com uma ampla variedade de fitofisionomias. Dentre as principais, destacam-se as formações florestais (mata ciliar, cerradão, mata seca e mata de galeria), as savânicas (vereda, palmeiral, cerrado sentido restrito e parque de cerrado) e as campestres (campo rupestre, campo sujo e campo limpo) (Ribeiro et al. 1983; Ribeiro e Walter, 2001). Ao considerar também os subtipos, são reconhecidos 25 fitofisionomias, dentre as quais estão os “Campos de murundus” (Walter, 2006).

Os Campos de Murundus podem ser considerados microrrelevos ou montículos de solo, geralmente circulares ou elípticos, cobertos em seu topo por vegetação arbórea, arbustiva, herbácea, e gramíneas, ou plantas de porte baixo em seu entorno (Araújo Neto

et al. 1986). Segundo Marimon et al. (2008), ocorrem geralmente em áreas influenciadas pela saturação hídrica, sendo acometidas por alagamentos sazonais ocasionados por inundações fluviais ou flutuações do lençol freático. Paulino et al. (2015), engloba essa fitofisionomia como a formação de montículos de solo que formam “ilhas” na sua extensão.

Quanto à origem da formação dos campos de murundus, alguns autores relacionam a processos erosivos associados à atividade biológica de térmitas (cupins), ou pequenos mamíferos roedores e répteis (Mathews, 1977; Oliveira Filho, 1988). Outros propõem que sua origem esteja relacionada a erosão diferencial e ao acúmulo de sedimentos (Araújo Neto, 1981; Cramer et al. 2012; Batista et al. 2013).

Outra grande variação dos microrrelevos é acerca de sua nomenclatura apresentando diferentes denominações ao longo do território, sendo conhecidos como murundu, murundum, morundu, cocoruto, monchão, capãozinho, ilha, morrote, varjão e covoal (Penteado Orellana, 1980; Cunha et al. 1983; Eiten, 1983; Furley, 1985; Araujo Neto et al. 1986; Furley, 1986; Oliveira Filho e Furley, 1990). Para Castro Junior (2002), a área de maior ocorrência no Brasil é no Planalto Central onde são reconhecidos como murundus, sendo também esse o termo adotado no trabalho.

Outra grande variação dos microrrelevos refere-se à sua nomenclatura, apresentando diferentes denominações ao longo do território, sendo conhecidos como murundu, murundum, morundu, cocoruto, monchão, capãozinho, ilha, morrote, varjão e covoal (Penteado Orellana, 1980; Cunha et al., 1983; Eiten, 1983; Furley, 1985; Araújo Neto et al., 1986; Furley, 1986; Oliveira Filho e Furley, 1990). Para Castro Júnior (2002), a área de maior ocorrência no Brasil é o Planalto Central, onde são reconhecidos como murundus, sendo também esse o termo adotado no presente trabalho.

Os campos de murundus dispõem de relevante importância no abastecimento dos rios e captação de recursos hídricos, além de serem responsáveis por diversos ganhos ecossistêmicos, como: armazenamento de carbono no solo (Rangel e Silva, 2007; Souza et al. 2016) sustentabilidade e abrigo de biodiversidade (Paulino et al. 2015) e importância hídrica (Confessor, 2023).

A importância dessas áreas está relacionada a vários fatores: conservação da biodiversidade ao abrigarem uma variedade de espécies de plantas e animais incluindo espécies adaptadas a esse ambiente específico (Bensusan, 2006), redução da erosão do solo funcionando como barreiras naturais que minimizam a perda de solo; regulação do ciclo hidrológico e manutenção da qualidade da água. Os campos de murundus



desempenham desta maneira, papel significativo na conservação dos recursos hídricos e na manutenção do equilíbrio ambiental do Cerrado (Silva et al. 2016).

Apesar de sua importância ambiental, o Cerrado vem sendo cada vez mais suprimido pelas atividades antrópicas, e grande parte de sua vegetação natural vem sendo substituída por pastagem e culturas anuais (Santos et al. 2014). Segundo os dados do Relatório Anual de Desmatamento (RAD) de 2023, publicado pelo MapBiomas, o desmatamento no Cerrado atingiu aproximadamente 659 mil hectares em 2022, representando um aumento de 32,4% em relação a 2021. Este é o maior valor registrado desde o início do monitoramento pelo projeto, em 2019.

Além do desmatamento, outras ações também impactam negativamente os ambientes, tais como poluição, queimadas, despejo de resíduos poluentes em locais inadequados, degradação do solo, entre outros. Esses impactos refletem na perda de biodiversidade, aumento de inundações e erosões, modificação do ciclo hidrológico, diminuição dos mananciais, destruição de habitats e até mesmo mudanças climáticas (Rodrigues, 1998; Silveira, 2008; Guerra e Jorge, 2012; Vieira e Bento-Gonçalves, 2015; Oliveira, Pietrafesa e Barbalho, 2023).

As áreas de murundus não estão poupadas do avanço agropecuário. Nos últimos anos, vêm sendo convertidas para expansão urbana, exploração agrícola e pecuária. Em razão de sua importância ecológica no ambiente em que estão inseridas, a utilização dessas áreas por sistemas agrícolas pode afetar seu equilíbrio e sua biodiversidade (fauna e flora) e, por se tratar de uma área sensível a danos, as mudanças podem ser irreversíveis.

No que se refere à situação dos campos de murundus no Parque Nacional da Serra da Canastra (área de estudo) esses são protegidos, assim como toda a área do parque. No entanto, percebe-se a falta de conhecimento sobre eles e sua importância ambiental no contexto local. Nesse sentido, o presente estudo torna-se uma referência para áreas de murundus protegidas ou mesmo para aquelas que estão sendo suprimidas pelo avanço da agropecuária, visto que a pesquisa está inserida em um ambiente equivalente as condições ideais, resultando em referência para compreensão da realidade do ambiente.

A Geografia como principal ciência do estudo, foi considerada por Antônio Carlos Robert Moraes (1998) como “uma ciência sintética (que trabalha com dados de todas as demais ciências), descritiva (que enumera os fenômenos abarcados) e que visa abranger uma visão de conjunto do planeta” (1998, apud Moura-Fé, 2014, p. 102). A partir disso, torna-se importante, para a compreensão do estudo, uma visão integrada dos aspectos que

habitam e coabitam a paisagem, utilizando ferramentas e áreas das ciências ambientais para essa interpretação.

A Geomorfologia, enquanto parte da ciência geográfica, possui papel relevante na compreensão das formas da superfície terrestre e dos processos que as moldam, permitindo interpretar a paisagem como produto da interação entre fatores naturais e antrópicos ao longo do tempo. No presente trabalho, a abordagem geomorfológica é fundamental para analisar os campos de murundus como feições resultantes de processos pedogenéticos, hidrológicos e possivelmente biológicos, além de compreender sua distribuição espacial, sua dinâmica e sua importância ecológica no contexto do Cerrado. A Geomorfologia oferece, assim, subsídios teóricos e metodológicos essenciais para investigar os microrrelevos, contribuindo para o reconhecimento da complexidade ambiental e da necessidade de conservação dessas áreas.

Desta maneira, entende-se que a Geografia, em conjunto com a Geomorfologia, possui papel relevante na proposição de novos caminhos metodológicos e abordagens em relação aos microrrelevos, com atenção central na compreensão dos processos que envolvem essa feição do relevo.

### **1.1 Hipótese**

A formação dos campos de murundus na Serra da Canastra apresenta evidências que indicam a participação de cupins como agentes responsáveis por sua gênese. Para corroborar essa hipótese, parâmetros químicos, físicos e biológicos foram utilizados na explicação dos processos evolutivos desses campos em complexos metamórficos predominantemente quartzíticos da paisagem local.

### **1.2 Justificativa**

Após algumas visitas iniciais ao Parque Nacional da Serra da Canastra, foram observadas formações arredondadas que despertaram atenção pela sua disposição na paisagem. Essas feições, conhecidas como murundus, motivaram o interesse em compreender suas particularidades e relevância para o local, com foco na investigação da evolução geomorfológica dos campos de murundus na Serra da Canastra, mais especificamente no Chapadão do Diamante.

Esses ambientes possuem significativa importância hídrica, uma vez que as variações sazonais do nível do lençol freático nessas áreas garantem o direcionamento do fluxo superficial saturado para os corpos d'água. Em outras palavras, funcionam como áreas naturais de captação, ou mananciais, onde, com as primeiras chuvas, o solo já saturado — seja por sua baixa capacidade de infiltração ou pela alta umidade residual — gera escoamento superficial em direção a córregos e rios devido à proximidade com o lençol freático (Araújo Neto, 1981; Baptista et al., 2013).

Segundo Wood (1996), esses ambientes apresentam ainda outras características relevantes, como proteção natural contra incêndios, melhor drenagem, maior teor de umidade, maior espessura do manto de intemperismo e melhoria na fertilidade do solo, o que favorece a presença de vegetações adaptadas a essas condições específicas.

Embora os campos de murundus ocorram em diversas regiões tropicais, há uma lacuna de estudos sobre o tema. A maior parte das pesquisas concentra-se na ecologia de cupins, em hipóteses sobre a gênese dessas feições ou em aspectos pedológicos (especialmente ligados à fertilidade dos solos), havendo ainda escassez de trabalhos voltados à abordagem geomorfológica, especialmente no que se refere à evolução desse tipo de microrrelevo e ao seu papel na paisagem.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Compreender os processos geomorfológicos, hidrológicos e biológicos que determinam a formação, distribuição e funcionalidade ecológica dos campos de murundus no Chapadão do Diamante (Serra da Canastra), com base em parâmetros físicos, químicos e espaciais.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar a distribuição espacial e os atributos morfológicos, granulométricos e químicos dos campos de murundus no Chapadão do Diamante.
- Identificar os processos geomorfológicos, hidrológicos e biológicos (com ênfase na bioturbação por térmitas) associados à gênese e evolução dessas formações.
- Avaliar as interações entre os componentes bióticos (vegetação, fauna) e abióticos (solo, relevo, água) na dinâmica atual dos murundus.
- Discutir a relevância ecológica e hidrológica dos murundus para a conservação do Parque Nacional da Serra da Canastra.

---

*ÁREA DE ESTUDO*

---



*“A vida é construída nos sonhos e concretizada no amor.” Chico Xavier*

### 3 **ÁREA DE ESTUDO**

A área de pesquisa do estudo concentra-se no Parque Nacional da Serra da Canastra, com foco específico no Chapadão do Diamante, uma das regiões mais emblemáticas do Cerrado brasileiro. Este parque desempenha um papel crucial na conservação da biodiversidade e da geodiversidade, abrigando espécies endêmicas e ameaçadas, além de ser a nascente do rio São Francisco, um dos mais importantes do Brasil.

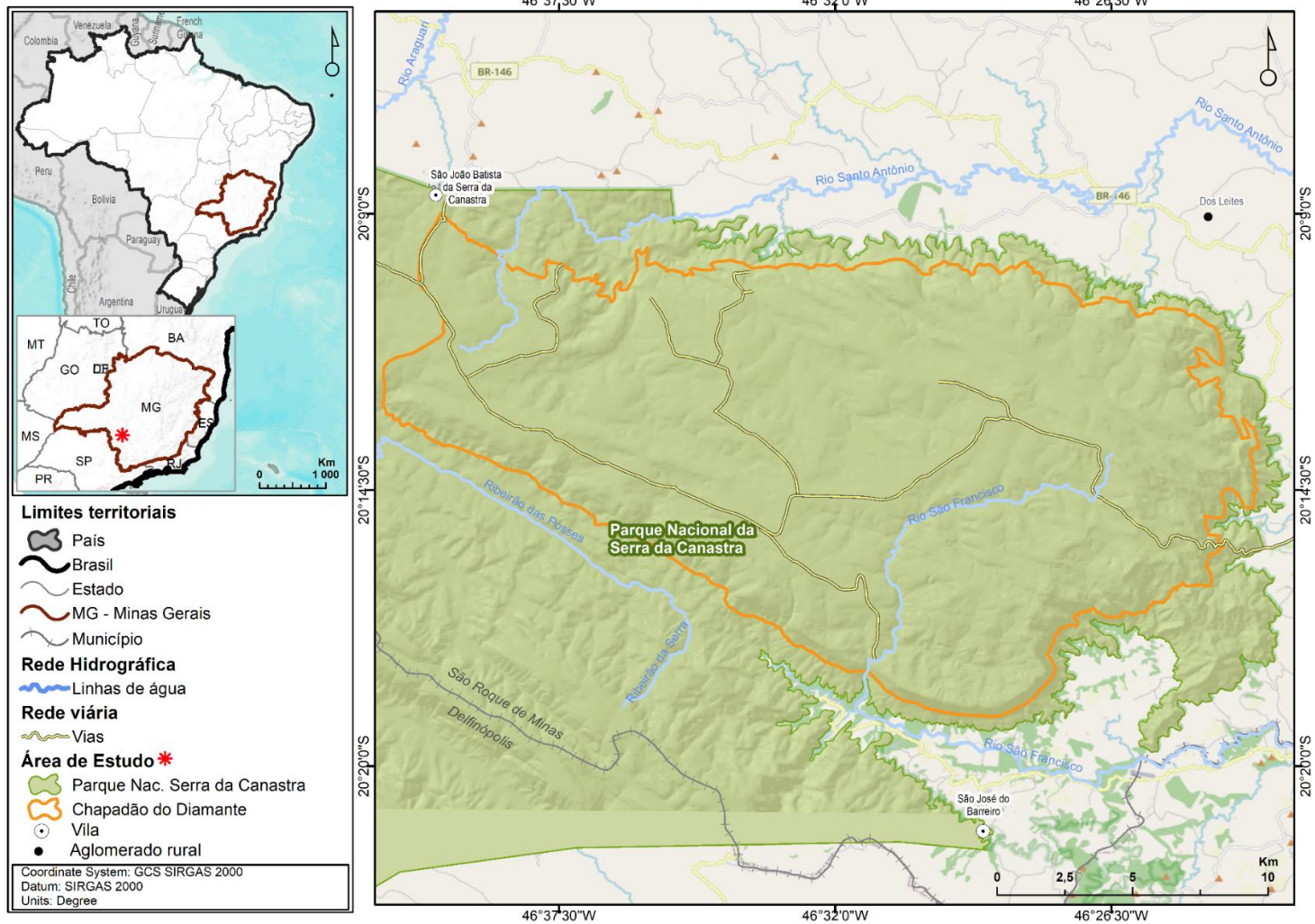
A preservação deste ecossistema é vital não apenas para a manutenção da diversidade biológica, mas também para o equilíbrio hidrológico e a proteção dos recursos hídricos que sustentam comunidades humanas e ecossistemas ao longo de sua bacia. O Chapadão do Diamante, em particular, representa um ponto estratégico na topografia do parque, contribuindo significativamente para a dinâmica ecológica e a integridade dos processos naturais que ocorrem na região.

#### 3.1 **Breve histórico do Parque**

O Parque Nacional da Serra da Canastra foi criado em 1972 e possui 71.525 hectares abrangendo 3 municípios: São Roque de Minas, Sacramento e Delfinópolis, no sudoeste de Minas Gerais (Figura 1). Em abril de 2022 o parque da Canastra completou 50 anos sendo um ano historicamente muito importante pois marca um legado temporal de proteção a fauna, flora, vegetação e cultura local.

O Parque Nacional da Serra da Canastra foi criado com o principal objetivo de proteger as nascentes do rio São Francisco. Inicialmente, sua área prevista era superior a 200 mil hectares, conforme estabelecido pelo Decreto nº 70.355, de 3 de abril de 1972, abrangendo também a Serra da Babilônia. No entanto, a área do parque foi reduzida, e sua implementação enfrentou desafios significativos devido aos altos custos de desapropriação. A remoção forçada de fazendeiros pela Polícia Federal gerou conflitos que, de certa forma, ainda perduram até os dias atuais.

Figura 1: Mapa de localização do chapadão do Diamante



Fonte: Autora.



## 3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

### 3.2.1 Contexto Geológico

Ao longo do tempo, os processos responsáveis pela formação da Serra da Canastra resultaram em uma complexidade geológico-estrutural significativa. Sua evolução geológica foi marcada por intenso tectonismo originando formas de relevos únicas (Figura 2) com a presença de falhas, dobras e processos erosivos, como a ação de rios e intemperismo que continuaram a modelar a paisagem da Serra da Canastra.

Figura 2: Escarpas quartzíticas presentes na região



Fonte: Autora, 2022

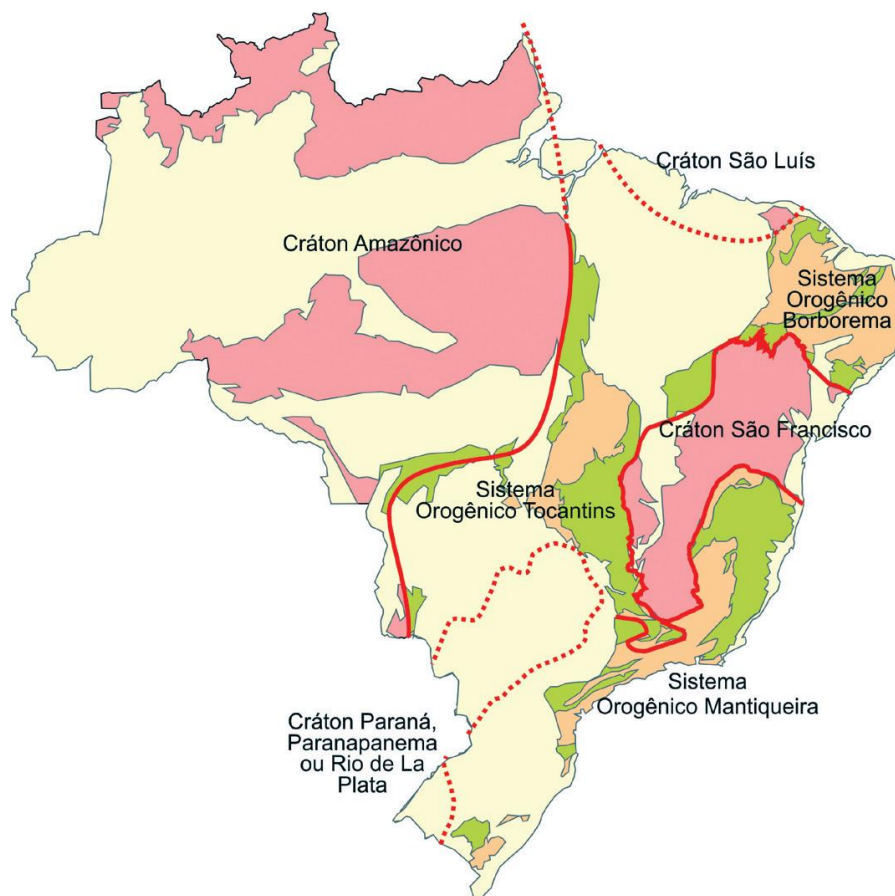
A área do parque abrange duas importantes estruturas geológicas: o Cráton do São Francisco e a Faixa de Dobramento Brasília, que apresentam diferenças notáveis em termos de composição de rochas e características tectônicas, conforme descrito por Souza e Rodrigues (2014).

O Cráton do São Francisco é uma porção estável e antiga da crosta terrestre, formada no Pré-Cambriano, que serviu como núcleo rígido durante o Ciclo Brasileiro (ca. 900 a 520 milhões de anos atrás). Na borda ocidental desse cráton, foram depositados, em ambiente de margem passiva, os sedimentos que compõem o Grupo Canastra, com idade estimada entre aproximadamente 900 e 1.000 Ma, na Era Neoproterozoica (Simões,

2015). Nesse período, eventos tectônicos de colisão entre crátons influenciaram as estruturas regionais e levaram ao soerguimento da Serra da Canastra, vinculada à Faixa de Dobramento Brasília, caracterizada por dobramentos resultantes de forças compressivas (Nazar e Rodrigues, 2019).

A representação simplificada na Figura 3 delineia a compartimentação geotectônica durante o Ciclo Brasileiro no território brasileiro, destacando a diferenciação entre as faixas orogênicas e os crátons.

Figura 3: Compartimentação geotectônica do Brasil



Fonte: HASUI, 2012

As rochas que compõem o relevo da região, em sua maioria, são metassedimentos associados aos Grupos Canastra, Araxá e Bambuí destacando principalmente a presença de quartzitos, xistos e filitos estruturados em amplas dobras anticlinais e sinclinais (Heineck et al., 2003).

É importante mencionar também a presença de sedimentos quaternários aluvionares encontrados nas porções de topo da Serra da Canastra, assim como coberturas

detrito-lateríticas nas superfícies aplainadas das chapadas. Isso sugere uma diversidade de processos geomorfológicos, pedológicos e deposicionais ao longo do tempo, incluindo a ação de rios e a formação de depósitos sedimentares (Valeriano et al., 2004; Hasui, 2012).

### 3.2.2 Relevo

Dentro do perímetro do parque, as altitudes se estendem de aproximadamente 800 a 1.495 metros, apresentando um relevo intimamente vinculado aos elementos estruturais. A paisagem exibe características geomorfológicas como platôs, encostas íngremes e vales encaixados, pertencentes à Morfoestrutura dos Planaltos e Serras de Goiás-Minas, conforme delineado por Souza e Rodrigues (2014). Essa morfoestrutura pode ser dividida em dois segmentos principais: o extenso platô do maciço da Canastra e o relevo mais dissecado na região da chapada da Babilônia, apresentando formas modeladas pela exposição de estruturas dobradas ao longo de múltiplos ciclos geotectônicos, como apontado por Vasconcelos et al. (2013).

O Compartimento das Chapadas na região abriga os chapadões do Zagaia, a oeste, e do Diamante, a leste, ambos caracterizados por feições aplainadas, vertentes suaves, rampas extensas e cristas rochosas, conforme descrito pelos relatórios do MMA/IBAMA (2005) e por Nazar e Rodrigues (2019).

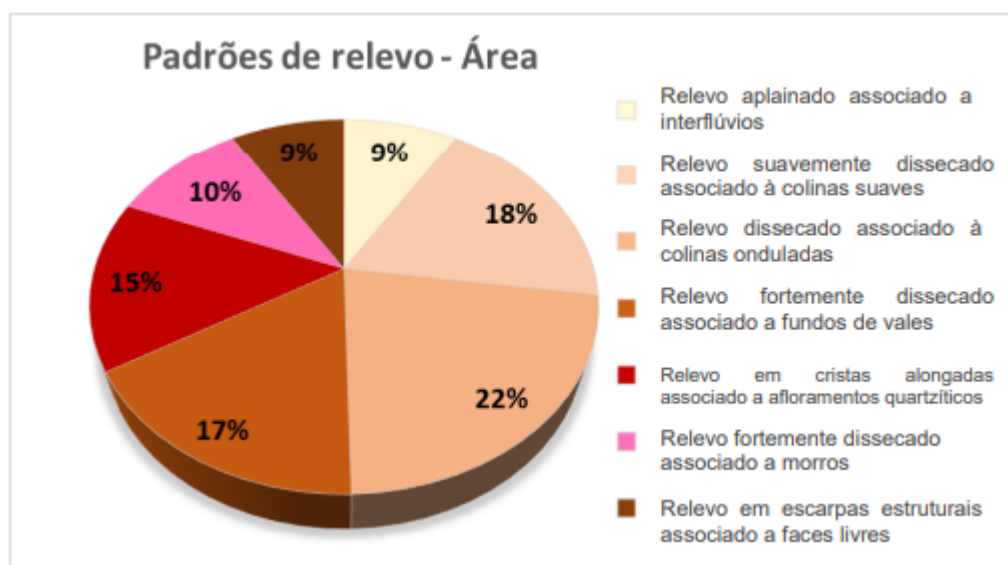
A topografia, especificamente relacionada ao Chapadão do Diamante (ChD) (área de estudo) abrange uma variedade de formas de relevo, incluindo, segundo Nazar (2018), áreas com superfícies planas associadas aos pontos mais altos, regiões com relevo que varia de suavemente a intensamente fragmentado, cristas alongadas com afloramentos quartzíticos, e nas extremidades, um relevo íngreme com faces expostas, revelando, assim, uma relação significativa com as características litoestruturais e com as geocoberturas.

Através de análises semiautomatizadas Nazar (2018), expõe a distribuição das classes de relevo do ChD (Figura 4):

Do ponto de vista da distribuição areal dessas classes de relevo, cerca de 9% é destinada ao Relevo aplainado associado a interflúvios, 18% referem-se ao Relevo suavemente dissecado associado à colinas suaves, 22% ao Relevo dissecado associado à colinas onduladas e 17% ao Relevo fortemente dissecado associado a fundos de vales; enquanto que o Relevo em cristas alongadas associado a afloramentos quartzíticos ocupam 15% da área e o Relevo em escarpas estruturais

percebem 9%, e por fim, as áreas de Relevo fortemente dissecado associado a morros atingem 10% do total (NAZAR, 2018 p. 137)

Figura 4: Gráfico da distribuição dos padrões de relevo no Chapadão do Diamante



Fonte: NAZAR, 2018.

### 3.2.3 Solos

O Bioma Cerrado segundo Correia et al (2004), ocorre em sua maioria em Latossolos (45,7%), Plintossolos (9%), Gleissolos (2,5%), Neossolos Quartzarênico (15,2%), Neossolos Litólicos (7,3%), Cambissolos (3,1%), Nitossolos (1,7%) e outros (0,4%). Há também a ocorrência de campos aluvinares inundáveis em planícies e depressões, onde ocorrem campos de murundus.

Relacionando o estudo com outros trabalhos sobre a gênese dos solos em campos de murundus, Paulino et al. (2015) identificaram diferentes tipologias na mesma região devido à espacialização de ocorrência, apresentando duas áreas (Minas Gerais e Mato Grosso) e seus respectivos solos encontrados. Em Jaíba (MG) foram identificados Neossolos Quartzarênicos, Plintossolos Háplicos e Latossolos Vermelho-Amarelos. E no planalto dos Parecis-MT Neossolos Quartzarênicos Órticos, Plintossolos Argilúvicos Distróficos, Gleissolos Háplicos Distróficos e Latossolos Vermelho-Amarelo Distróficos.

Essas áreas apresentam relação com a perenização das nascentes e dos cursos d'água, e possuem horizonte plântico, juntamente com a presença de mosqueados, indicando uma drenagem imperfeita, bem como suas ligações com a fauna e a flora. Mais especificamente sobre a cobertura vegetal dessas áreas, predomina o Campo Cerrado

Tropical, com relevo suave ondulado ou plano, fato que pode variar conforme o local de estudo.

O Plano de Manejo de 2005 do Parque Nacional da Serra da Canastra agrupou quatro tipos de solos dentro dos limites do Chapadão da Canastra: Latossolos, Cambissolos, Neossolos Litólicos e Gleissolos. No entanto, as informações fornecidas pelo plano são limitadas e não apresentam detalhes mais específicos sobre as classes de solos na Serra da Canastra. É possível encontrar, em outros trabalhos realizados na área (Confessor, 2023), as classes Argissolo Vermelho, Gleissolos Melânicos, Neossolo regolítico e Latossolo.

De acordo com a classificação do Brasil de 1983, em uma escala de 1:1.000.000, as classes de solos apontadas para essa região eram Latossolos Vermelho Escuro distróficos, Podzóis e Cambissolos Alícos. Essa classificação foi atualizada, e as classes de solos correspondentes na classificação atual são Latossolos Vermelho distróficos, Argissolos e Cambissolos Háplicos alumínicos.

Vasconcelos et al. (2013), em seus estudos realizados no Chapadão do Zagaia na Serra da Canastra classificou os solos de sua pedossequência como: Latossolo Vermelho Ácrico húmico, Latossolo Vermelho Ácrico típico, Cambissolos Háplicos e Húmicos e Gleissolos (Quadro 1).

Quadro 1: Classificação dos solos encontrados no Chapadão do Zagaia (área próxima ao Chapadão do Diamante)

Perfil	Classes de Solos	Textura	Fase da Vegetação	Formas de relevo	Superfície	Material de origem
1	LATOSSOLO VERMELHO ÁCRICO húmico	Muito argilosa	Cerrado sentido restrito	Plano	Erosão	Filito
2	LATOSSOLO VERMELHO ÁCRICO típico	Muito argilosa	Cerrado sentido restrito + campo limpo	Plano	Erosão	Filito
3	LATOSSOLO VERMELHO ÁCRICO húmico	Muito argilosa	Cerrado sentido restrito	Plano	Erosão	Filito
4	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	argilosa	Cerrado sentido restrito + campo limpo	Plano	Erosão/Deposição	Filito
5	CAMBISSOLO HÚMICO Tb Distrófico latossólico	argilosa	Campo limpo	Suave ondulado	Deposição	Filito
6	CAMBISSOLO HÚMICO Tb Distrófico típico	média	Campo limpo	Suave ondulado	Deposição	Filito
7	LATOSSOLO VERMELHO ÁCRICO húmico	Muito argilosa	Cerrado sentido restrito	Plano	Deposição	Filito
8	LATOSSOLO VERMELHO ÁCRICO típico	Muito argilosa	Cerrado sentido restrito + campo limpo	Plano	Deposição	Filito
9	GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	argilosa	Campo limpo com murundum	Suave ondulado	Deposição	Filito
10	GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	Muito argilosa	Campo limpo com murundum	Suave ondulado	Deposição	Filito

Fonte: Vasconcelos et al, 2013

De forma geral, os solos da área são caracterizados por sua baixa fertilidade natural, uma característica marcante dos solos de ambientes de Cerrado. Apresentam também grande heterogeneidade em suas propriedades físicas, químicas e morfológicas, incluindo solos arenosos, argilosos, pedregosos, lateríticos, concrecionários, hidromórficos e litólicos, com variações que vão de rasos a profundos (Romero e Nakajima, 1999). Além disso, estudos realizados por Ribeiro et al. (2001) destacam que muitos desses solos são extremamente intemperizados, com baixa capacidade de retenção de nutrientes e acidez elevada, características típicas de solos desenvolvidos sob condições climáticas tropicais.

#### 3.2.4 Geocoberturas

A parte superior da Terra, que representa a interface entre a litosfera e a troposfera, pode ser referida por diferentes termos, dependendo da perspectiva e dos objetivos da pesquisa ou do pesquisador. Dentre os termos utilizados para descrever essa camada superficial, um dos mais comuns é o de solo. No entanto, existem outras designações, como *materiais superficiais* ou *formações superficiais*. Atualmente, também há referências ao termo *geocoberturas*, especialmente em pesquisas focadas na Geomorfologia e na evolução da paisagem, como observado nos trabalhos de Nazar (2018) e Nazar e Rodrigues (2020).

O termo geocobertura refere-se à camada de materiais que cobre a superfície terrestre, formada por processos físicos ou químicos. Essa camada pode incluir materiais soltos, como areia e cascalho, bem como materiais consolidados, como rochas expostas aos efeitos do intemperismo. Dessa maneira, as geocoberturas abrangem os materiais que compõem a camada superficial de alteração.

O mapeamento de geocoberturas na região da Serra da Canastra, realizado por Nazar (2018), identificou diversos tipos de materiais superficiais, resultando na definição de 11 classes distintas com base em suas características. A distribuição espacial dessas coberturas reflete a influência do relevo e do clima local. Algumas classes foram classificadas como indiferenciadas devido à falta de parâmetros claros para sua definição predominante.

A autora destaca que mais da metade das geocoberturas da área é composta por materiais arenosos, cascalhentos e afloramentos rochosos, com predominância de quartzito. Aproximadamente 20% da área apresenta materiais ferruginosos, incluindo



expressivas ocorrências de concreções lateríticas. Além disso, a categoria de "materiais cascalho-arenosos com caos de blocos", quando somada às classes indiferenciadas, corresponde a mais de 40% da extensão do Chapadão, seguida por 16% de afloramentos rochosos, conforme exibido no Quadro 2.

Quadro 2: Classes de materiais encontrados no Chapadão do Diamante.

<b>Classes</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Padrões de relevo associados</b>	<b>Aspectos gamaespectrométricos associados</b>
<i>Materiais cascalho-arenosos com caos de blocos</i>	23,07	Predominam nas áreas com relevo dissecado em colinas onduladas e também no conjunto de cristas quartzíticas.	Baixas concentrações ou nenhuma dos três radioelementos Th, K e U.
<i>Materiais cascalho-arenosos indiferenciados</i>	20,09	Ocupam boa parte da área, cobrindo relevos dissecados que formam colinas onduladas a fortemente onduladas.	Baixas concentrações de Th e variações de baixas a médias concentrações de K.
<i>Afloramentos rochosos</i>	16,24	Ocorrem, sobremaneira, no padrão de Cristas alongadas quartzíticas.	Baixas concentrações ou nenhuma dos três radioelementos Th, K e U.
<i>Materiais orgânicos (turfeiras) associados a fundos de vale e áreas úmidas</i>	8,97	Predominam nos relevos fortemente dissecados, associados aos fundos de vale.	Médias a baixas concentrações de Th e altas, médias e baixas de K, em todo o Chapadão.
<i>Materiais de bioturbação (campos de murunduns) ferruginosos ou com concreções ferruginosas</i>	8,87	Cobrem, principalmente, as áreas de relevo dissecado suave ondulado, adjacentes aos topos planos do setor central. Podem ocorrer também nos próprios topos planos e nos setores de fundos de vale, antecedendo às turfeiras.	Médias concentrações de Th e altas de K.
<i>Materiais coluviais indiferenciados</i>	5,90	Ocorrem no sopé das escarpas.	Baixas concentrações de Th e médias a baixas de K.
<i>Materiais areno-argilo-ferruginosos ou com concreções ferruginosas</i>	5,52	Ocupam os topos planos, especialmente aqueles dos setores central e oeste da área.	Muito altas a altas concentrações de Th e baixas de K.
<i>Materiais cascalho-arenosos com concreções ferruginosas</i>	3,75	Estão presentes nos topos planos mais a leste, adjacentes às cristas alongadas deste setor.	Média a alta concentração de Th, e média de K.
<i>Materiais cascalho-arenosos com camada orgânica</i>	3,40	Ocorrem em topos planos e relevo dissecado em forma de colinas suaves, na porção sul-sudoeste da área.	Baixas concentrações de Th e K.
<i>Materiais areno-argilosos indiferenciados</i>	3,28	Prevalecem nas áreas de relevo dissecado em colinas suave a onduladas, sobretudo, nas meias vertentes dos setores central e oeste.	Altas a médias concentrações de K e medianas de Th.
<i>Materiais de bioturbação (campos de murunduns) indiferenciados</i>	0,91	Ocorrem em áreas, geralmente não associadas às adjacências de topos planos ferruginosos, porém, ocupam áreas que antecedem às turfeiras nas baixas vertentes.	Médias a baixas concentrações de Th e médias de K.

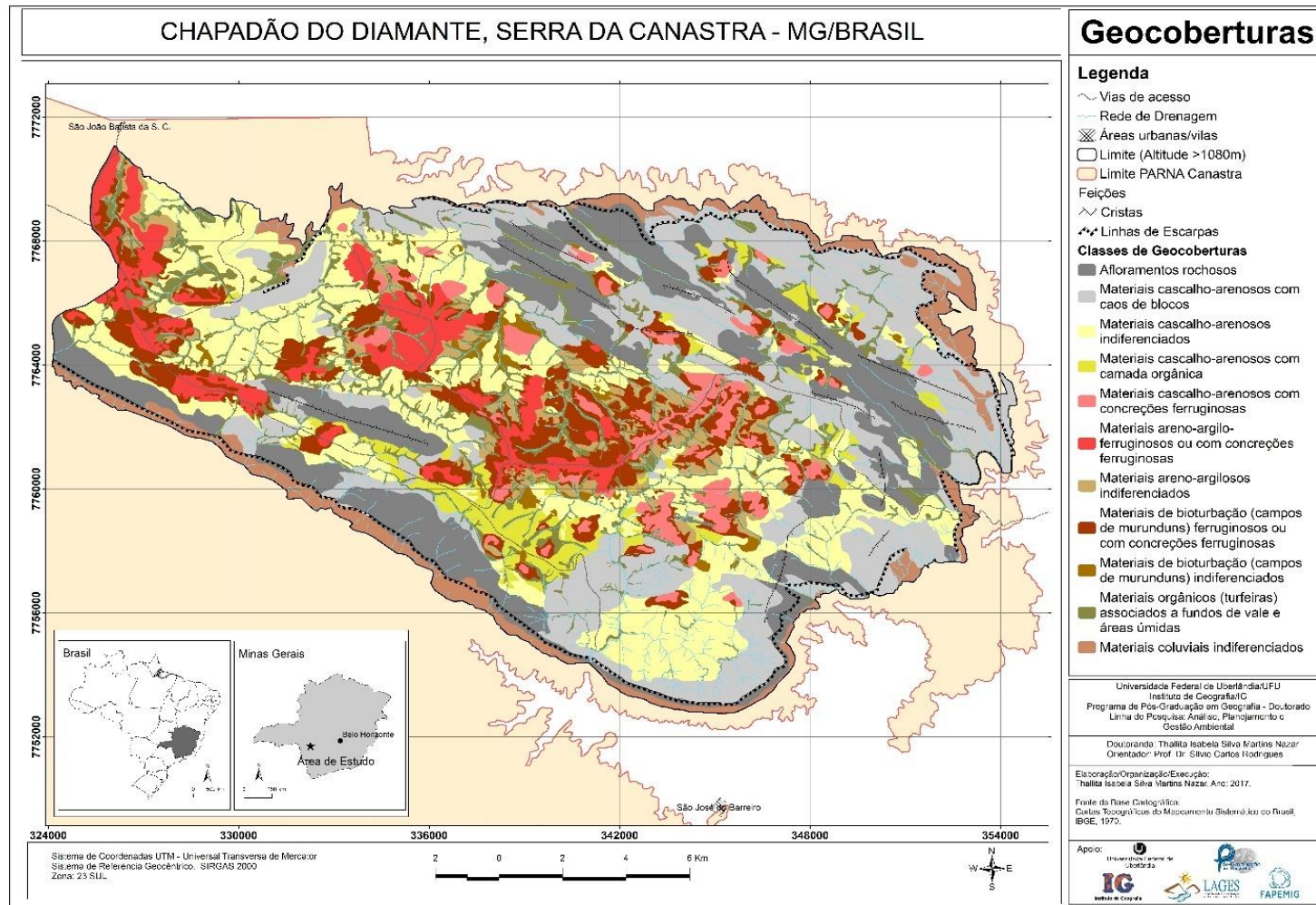
Fonte: NAZAR, 2018.

As áreas cobertas por campos de murundu tanto ferruginosos ou com concreções como os indiferenciados representaram parcela significativa na paisagem do Chapadão

do Diamante abrangendo cerca de 9,8% de toda a área. O mapa das Geocoberturas (Figura 5) bem como o gráfico (Figura 6) representam essas diferentes classes e suas distribuições na área. Nota-se que essas formações tendem a ser mais comuns em terrenos dissecados, suavemente ondulados, áreas próximas a turfeiras, topos de colinas e fundos de vales.

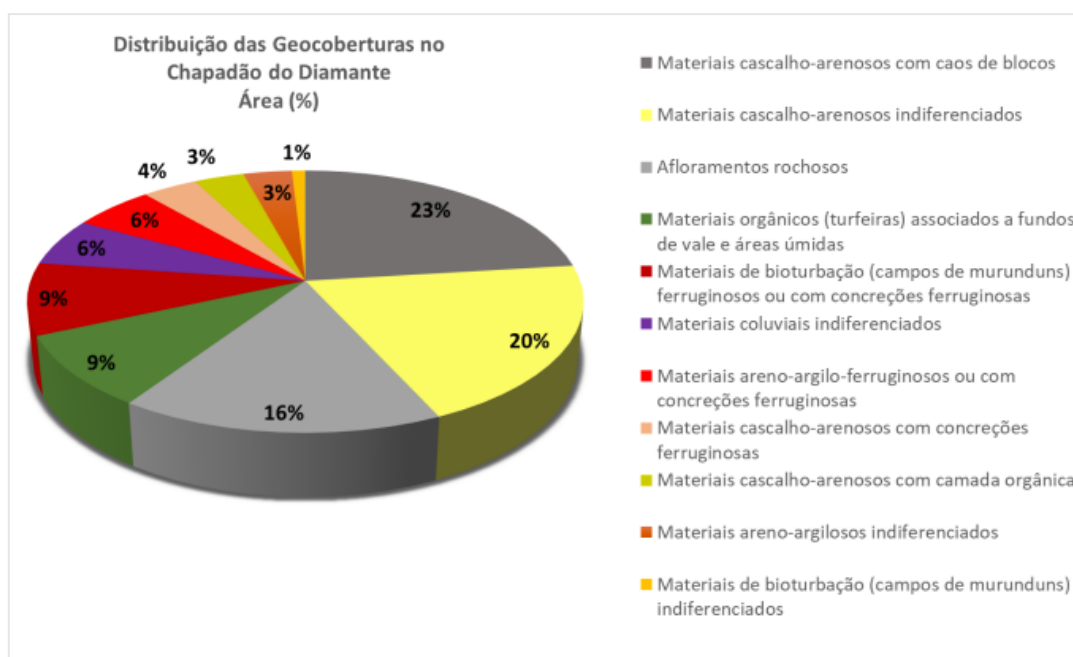


Figura 5: Mapa Geocoberturas



Fonte: NAZAR, 2018.

Figura 6: Porcentagem da distribuição das Geocoberturas no Chapadão do Diamante



Fonte: Nazar, 2018

De maneira geral, segundo Nazar, (2018) a superfície do Chapadão do Diamante é complexa em termos morfológicos e estruturais, exigindo uma interpretação cuidadosa e integrada de seus componentes, sendo o resultado de sua classificação de ‘Geocoberturas’ uma nova forma de abordagem de estudo, onde a caracterização combinada dos aspectos superficiais, formas de relevo, e substrato rochoso podem ser base para pesquisas futuras, uma vez que, esse panorama não havia sido explorado ainda no Chapadão do Diamante.

### 3.2.5 Clima e Hidrografia

A Serra da Canastra é considerada um berçário de rios e se encontra no divisor de duas importantes bacias hidrográficas: a do rio Paraná e a do rio São Francisco. Conforme mencionado pelo MMA/IBAMA (2005), a região integra importante zona de recarga regional, ocasionada pelas elevadas altitudes na área da Serra da Canastra que é influenciada pelos aspectos litológicos que desempenham papel significativo na modulação dos padrões de fluxo da água, tanto na superfície quanto nas camadas subsuperficiais.

Devido a configuração da Serra ela funciona como dispersora de drenagem, comportando-se como divisora de águas da plataforma brasileira, representando um interflúvio entre as bacias hidrográficas do Rio São Francisco, com direção para o norte, e do Paraná, que flui para o sul (Ferreira, 2013; Silva et al., 2017).

Em relação ao clima, o Parque está inserido em uma região de transição climática, influenciada por sua localização geográfica e topografia. Estudos recentes indicam que a área apresenta um clima tropical de altitude, caracterizado por duas estações bem definidas: uma chuvosa, que ocorre entre outubro e março, e outra seca, de abril a setembro (IBAMA, 2005).

A pluviosidade média anual varia entre 1.200 e 1.600 mm, com a estação chuvosa ocorrendo de outubro a março e a seca de abril a setembro. As temperaturas médias mensais oscilam entre 18°C nos meses mais frios e 22°C nos mais quentes. A topografia acidentada da região contribui para variações microclimáticas significativas, influenciando diretamente a distribuição das diferentes fitofisionomias presentes no parque (MMA/IBAMA, 2005).

A variação sazonal no regime pluviométrico afeta a exfiltração da água das nascentes locais, cujos volumes estão associados à precipitação. Durante os períodos de chuvas na região, ocorre uma mudança nos pontos de exfiltração para áreas mais baixas do terreno, e em alguns casos, há a completa interrupção dos fluxos em determinadas épocas do ano (Silva, 2019).

### 3.2.6 Vegetação

O Parque Nacional da Serra da Canastra está inserido no domínio fitogeográfico do Cerrado, conforme a classificação de Ab'Sáber (1971). Sua vegetação é predominantemente adaptada ao relevo elevado da serra, caracterizando-se pela presença de extensas áreas de campos rupestres, além de manchas de cerrado e matas ciliares, que desempenham um papel fundamental na preservação dos recursos hídricos da região. Essa configuração não se deve apenas à altitude, mas também às características do substrato, composto majoritariamente por rochas quartzíticas e solos rasos, que impõem limitações hídricas e nutricionais, favorecendo a ocorrência de fitofisionomias especializadas e de elevada diversidade adaptativa.

Segundo Ribeiro e Walter (1998), o parque é, em sua maioria, coberto por formações campestres, diferenciando-se em três tipos fitofisionômicos: campo-sujo,

campo rupestre e campo limpo. Além das formações campestres, o parque também apresenta formações savânicas, representadas pela fitofisionomia Cerrado, com variações de Cerrado denso, Cerrado ralo e Cerrado rupestre (MMA/IBAMA, 2005). Ambas as formações se destacam por apresentar um elevado índice de endemismo, como apontado por Pirani et al. (1994) e Harley (1995).

Segundo Nazar (2018), o Chapadão do Diamante está localizado na área de transição entre o Domínio dos Mares de Morros florestados e o Domínio Morfoclimático dos Chapadões tropicais interiores, que apresenta principalmente as características do Domínio Morfoclimático do Cerrado, com uma variedade de formações vegetais, desde campos limpos, sujos e rupestres até formações de Cerrado *stricto sensu* e matas de galeria.

A vegetação herbácea, com menor presença arbustiva, predomina em grande parte da área, possivelmente devido à espessura reduzida dos materiais superficiais e às temperaturas mais amenas resultantes das altitudes presentes na região (Figura 7). Os campos rupestres se destacam nas áreas com afloramentos quartzíticos, enquanto as formações de cerrado *stricto sensu* ocorrem em associação com coberturas superficiais mais espessas e desenvolvidas, e as matas de galeria se encontram nos vales.

Figura 7: Vegetação rupestre Serra da Canastra



Fonte: Autora, 2022

É importante mencionar também que a vegetação do Parque já sofreu muitas alterações devido a existência de práticas anteriores à criação da unidade de conservação,

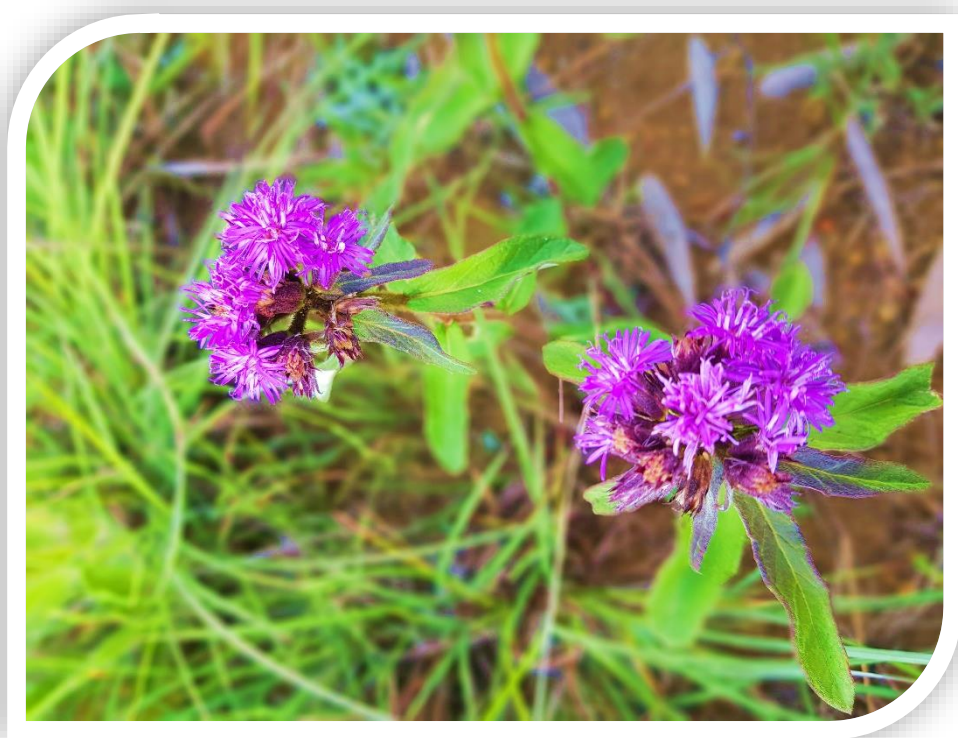
como por exemplo o manejo implementado com o propósito de facilitar a criação de gado, envolvendo o uso frequente de queimadas para a renovação de pastagens o que acabou gerando impactos significativos nas formações florestais primárias da região. Essas alterações ocorreram em diferentes graus e, na atualidade, a maior parte dessas formações encontram-se em estágio secundário, conforme indicado por Medeiros e Fiedler (2004), bem como informações do MMA/IBAMA (2005).



---

## *REFERENCIAL TEÓRICO*

---



*“Não devemos enxergar a natureza simplesmente como um conjunto de belas paisagens, animais, plantas e elementos naturais. Ela é a extensão de nosso próprio ser, e nós somos a extensão dela”. (Bruno Albuquerque)*

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial foi estruturado em tópicos que visam a compreensão em relação ao objeto de estudo, abarcando as diferentes teorias do processo de gênese e evolução dos campos de murundus, distribuição geográfica, aspectos bióticos e abióticos, papel das térmitas nesses ambientes, além de aspectos físico-químicos e biológicos.

### 4.1 Fisiologia da Paisagem

Na busca por respostas no ambiente científico é comum empregar áreas que embasam as diferentes pesquisas pelo mundo. Para alcançar as questões levantadas e atender os objetivos é necessário traçar caminhos específicos para o êxito nas discussões. O presente estudo entende dessa forma a importância da associação com diferentes áreas do conhecimento. Por se tratar de uma pesquisa ambiental e de paisagem utilizou principalmente as ciências: geográfica e geomorfológica, e no segundo momento a fim de enriquecer a pesquisa utilizou também a ecologia.

Para uma melhor compreensão da paisagem geográfica, adotou-se o conceito de Fisiologia da Paisagem, conforme proposto por Aziz Ab'Saber (1969). Essa abordagem holística considera não apenas as características topográficas e morfológicas, mas também a estrutura e os processos que moldam a paisagem em sua totalidade. Dado que o objetivo do estudo envolve a observação e análise da interação entre os elementos que compõem e transformam a paisagem ao longo do tempo, o terceiro nível geomorfológico foi eleito como chave interpretativa da pesquisa.

O terceiro nível trata-se da Fisiologia da Paisagem, esse nível se concentra na compreensão dos processos morfoclimáticos (clima e forma da paisagem) pedogenéticos (formação e evolução dos solos) e intervenção humana como agente que afeta a paisagem (Ab'saber, 1969).

A abordagem de Fisiologia da Paisagem de Ab'Sáber destaca a complexidade das interações que ocorrem na paisagem e a importância de considerar esses aspectos em estudos geográficos e geomorfológicos, combinando elementos da geografia física geomorfologia e ecologia para compreender a interação entre os processos naturais e as características da paisagem.

Segundo Aziz Ab' Saber a “Fisiologia da Paisagem” refere-se a compreensão dos processos naturais e das interações que ocorrem na paisagem geográfica, essa abordagem visa analisar a paisagem como um sistema (Figura 8), onde estão diversos elementos naturais como clima, geologia, hidrologia, vegetação e formas de relevo. Dentre os principais pontos de entendimento dessa abordagem estão:

**Clima e morfogênese:** enfatizando a influência do clima na formação da paisagem através da temperatura, precipitação e ventos que atuam na erosão, sedimentação, desenvolvimento dos solos e criação de formas de relevos.

**Geologia e Morfologia:** A geologia como elemento chave onde diferentes tipos de rochas e estruturas geológicas influenciam a morfologia da paisagem, determinando a presença de vales, montanhas etc. e na definição dos remanescentes de aplainamento que resistiram aos processos erosivos.

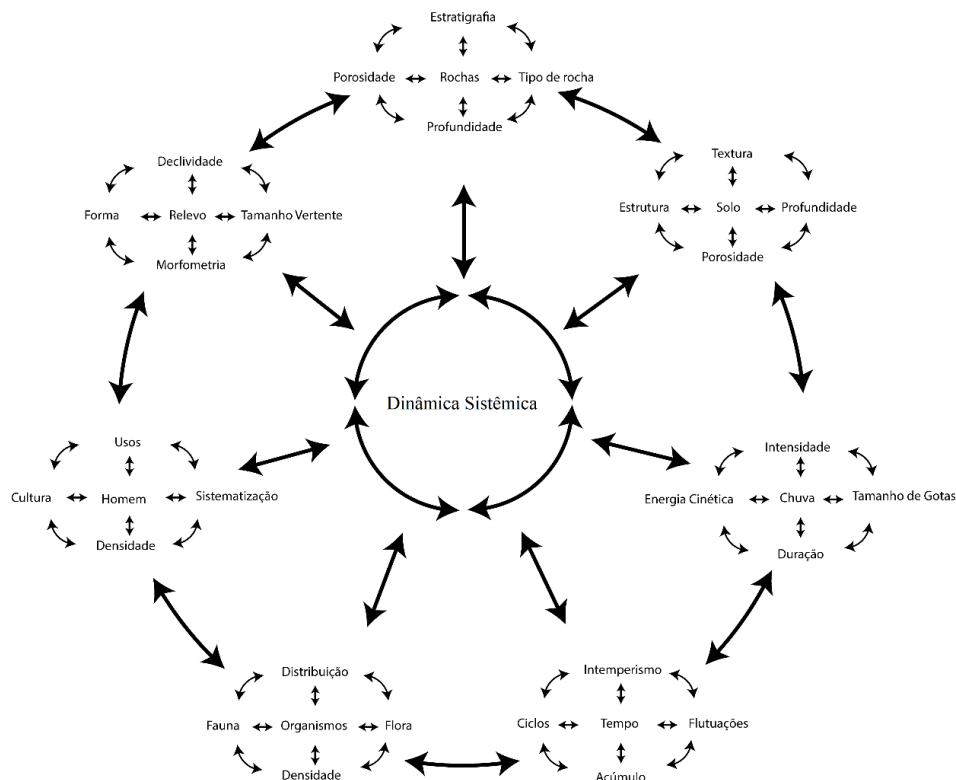
**Hidrologia e Drenagem:** Através do estudo dos sistemas hidrográficos – rios, lagos e aquíferos, a drenagem tem papel significativo na formação de vales, ravinas e sistemas de erosão.

**Vegetação e Ecossistemas:** A vegetação tem capacidade de atuar na regulação do ciclo da água, na estabilização do solo e na criação de microclimas locais.

**Interferência Humana:** A interferência humana cada vez mais afetando o equilíbrio dos ambientes através do desmatamento, urbanização, mineração, agricultura intensiva, impacto esses que podem ser irreversíveis.



Figura 8: Abordagem integrada de entendimento da paisagem



Fonte: Adaptado Confessor, 2023

A abordagem da fisiologia da paisagem tem sido aplicada em diversos estudos geográficos e ambientais, contribuindo para uma compreensão mais integrada e holística dos sistemas naturais, permitindo identificar os processos e como eles moldam a paisagem e influenciam a distribuição da biodiversidade.

Assim a paisagem não é apenas um cenário estático, mas um sistema em constante evolução, onde os processos naturais e as ações humanas desempenham papéis interligados em sua configuração e funcionamento, permitindo compreender a dinâmica da paisagem em sua totalidade, levando em conta os processos que ocorrem sobre ela. Isso permite uma visão mais integrada dos fenômenos geográficos, considerando a interação entre os elementos naturais e as atividades humanas sendo importante embasamento para o estudo.

#### 4.2 Tipos de Microrrelevô na Forma de Montes

É possível encontrar em diversas regiões do mundo diferentes microfeições de relevô na forma de morrotes, que apesar de exibirem semelhanças na forma, cada qual

apresenta singularidades em seus respectivos processos de gênese, exibindo agentes bióticos e abióticos de formação. Esses microrrelevos são encontrados na América do Sul, África, Sudeste Asiático, Índia, Austrália e América do Norte e possuem diferentes terminologias como destaca Paulino et al. (2015): p. 97

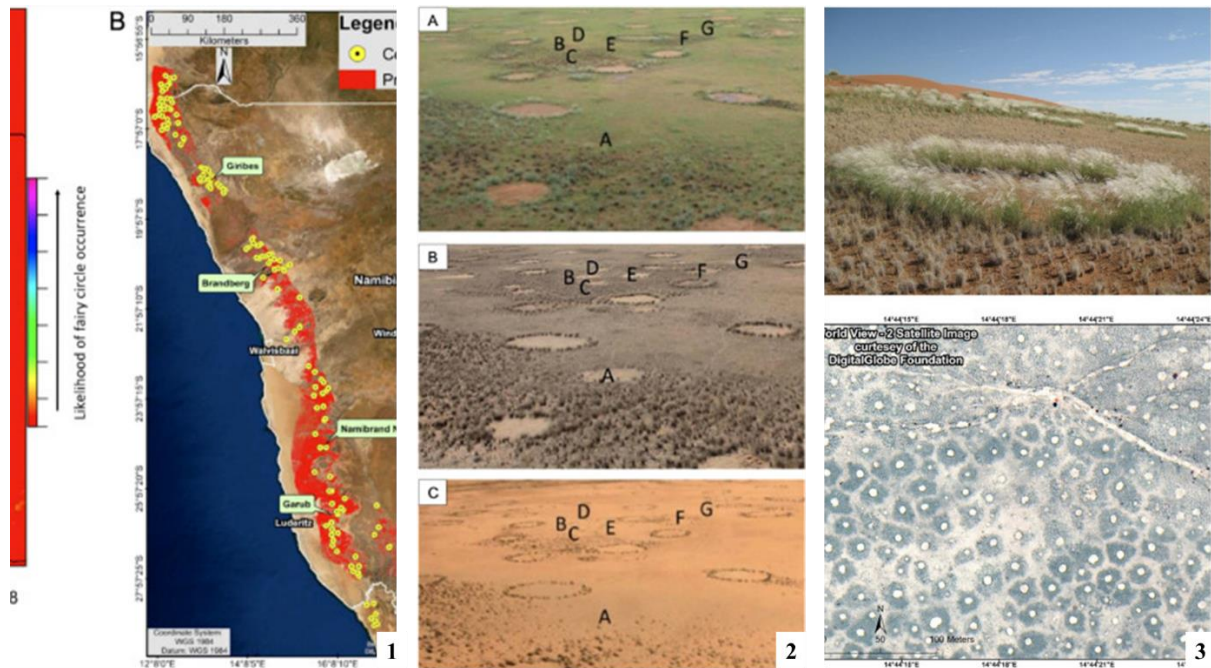
“earth platforms; termite savana formation; termite hillocks; cerrado island around termite hills; mima-mounds; heuweltjie; hogwallow mounds; pimple-mounds; prairiemounds; termiten savannen; cerritos; tatucos; gilgai; e mima-prairie” (Tröl, 1936; Péwé, 1948; Oakes e Thorp, 1951; Newcomb, 1952; Ritchie, 1953; Scheffer, 1958; Scott, 1963; Fairbridge, 1968; Ojany, 1968; Sarmiento e Monasterio, 1971; Eiten, 1972; Ratter et al., 1973; Kalpagé, 1974; Eiten, 1975; Mathews, 1977; Hole, 1981; Prance e Schaller, 1982; Cox, 1984; Fölster e Huber, 1984; Furley, 1985; Araujo Neto et al., 1986; Furley, 1986; Oliveira Filho, 1988; Moore e Picker, 1991; Midgley, 2010)”.

Os estudos supracitados sugerem que essas feições podem ser resultado de processos geológicos, como expansão e contração do solo, atividade de pequenos animais, processos de congelamento e descongelamento, fenômenos geomorfológicos ou erosivos ou ainda processos relacionados à vegetação.

No entanto, apesar de serem formações similares no aspecto visual com os murundus Brasileiros os montes são estruturas com diferentes gêneses, apresentando uma organização e formação distinta. A origem exata dos microrrelevos ainda é muito debatido na comunidade científica, sendo importante o estudo de sua área de ocorrência e condições ambientais do local.

Os “*círculos de fadas*” ou círculos de vegetação são objeto de estudo de grande debate na comunidade científica, existem diferentes teorias sobre sua formação, Juergens (2013), os define como anéis de vegetação perene que surgem em habitats desérticos ou áridos, que foram originados pela atividade do cupim de areia (*Psammotermes allocerus*) que removem a vegetação de vida curta após chuvas intermitentes deixando manchas circulares estéreis (Figura 9).

Figura 9: Mapa de ocorrência dos círculos de fadas. (2) círculos de fadas em fase de precipitação e em fases após meses de chuva. (3) cinturão perene com grama mais longa em volta dos círculos e imagem de satélite – Namíbia

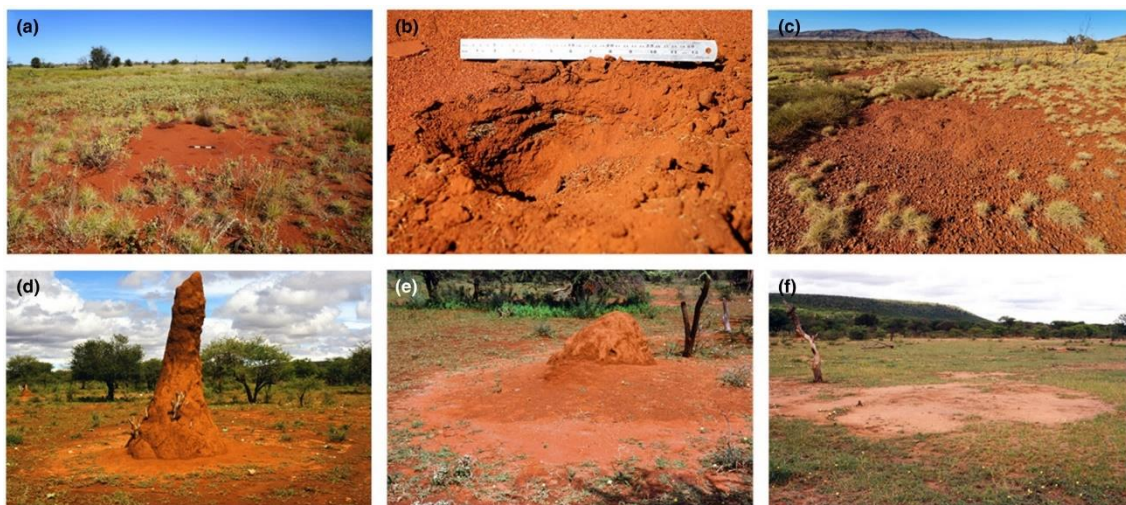


Fonte: MEYER et al, 2021

Meyer et al. (2021) apontam que os pesquisadores ainda não chegaram a uma conclusão sobre a formação desse fenômeno e reuniram, em sua publicação, os autores que abordaram o tema, bem como as principais teorias de formação (Quadro 3).

1. Teoria dos insetos sociais – antigos ninhos fossilizados de cupins / comportamento de forrageamento de térmitas: cupins e formigas / Processo direto e indireto onde os insetos coletam sementes ou mudas de dentro dos círculos e no indireto acredita-se que a presença ativa de ninhos de térmitas produz substâncias inibidoras que prejudicam o crescimento das plantas no centro (Figura 10).

Figura 10: Círculos típicos causados por cupins colhedores (*Drepanotermes*) em Jigalong Road, na Austrália Ocidental (a, b, f). Estrutura de ninho de cupins colhedores mais pronunciada (d, e). Outro exemplo comum de cupins no Parque Nacional Karijini, na Austrália Ocidental (c).



Fonte: GETZIN et al, 2016

2. Teoria da padronização espacial da vegetação auto-organizada – um tipo de interação das plantas permitindo que as gramíneas interajam entre si em busca de nutrientes e água.
3. Teoria dos gases – microinfiltração de gases dentro dos círculos (particularmente a microinfiltração de hidrocarbonetos) resultando no esgotamento do oxigênio impedindo o crescimento das plantas.
4. Teoria da alelopatia de *Euphorbia* – A alelopatia é um fenômeno em que uma planta produz substâncias químicas chamadas aleloquímicos, que podem influenciar o crescimento, desenvolvimento ou germinação de outras plantas ao seu redor. As plantas do gênero *Euphorbia* são conhecidas por produzir uma grande variedade de compostos químicos, incluindo alguns que têm efeitos tóxicos ou inibitórios sobre outras plantas, como citou Theron (1979) que encontrou uma população de plantas *E. damarana* ocorrendo na Planície de Giribes, que continha um látex altamente venenoso.

Quadro 3: Quadro das publicações sobre as principais teorias relacionadas aos círculos de fadas

Date of publication	Main author (theory)	Social insects	Veg. self-arrangement	Gas	<i>Euphorbia</i> allelopathy
1971	Tinley				
1979	Theron				
1994	Moll				
2000	Becker & Getzin				
2001	Albrecht et al.				
2004	Van Rooyen et al. (review)				
2011	Naudé et al.				
2012	Tschinkel				
2012	Picker et al.				
2013	Juergens				
2013	Cramer & Barger				
2014	Getzin et al.				
2015	Getzin et al.				
2015	Juergens et al.				
2015	Meyer et al.				
2015	Tschinkel				
2015	Vlieghe et al.				
2016	Cramer et al.				
2016	Getzin et al.				
2017	Tarnita et al.				
2017	Ravi et al.				
2019	Getzin & Yizhaq				
2020	Getzin et al.				
2020	Meyer et al.				

Fonte: (MEYER et al, 2021)

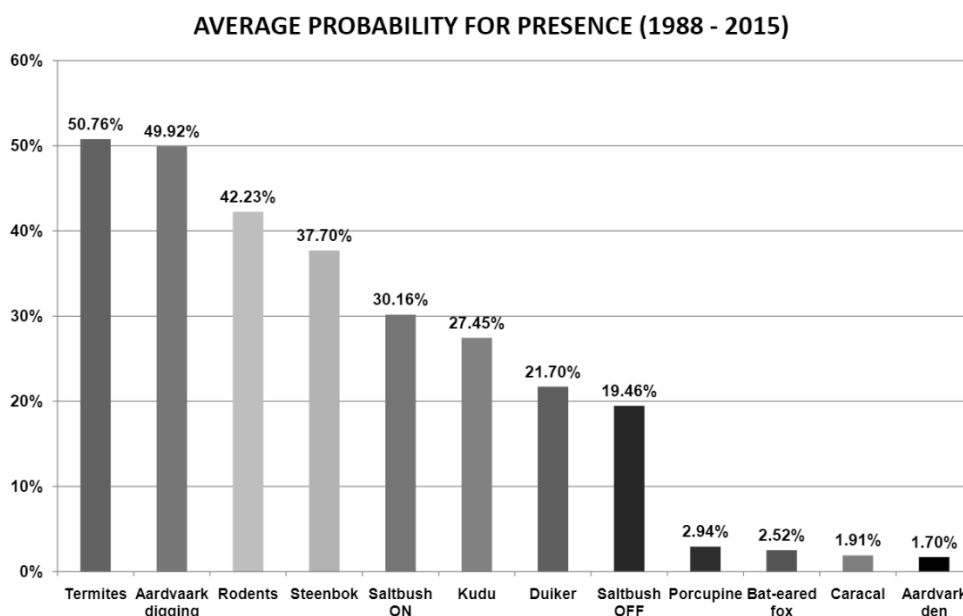
Nas savanas africanas os montes de terra denominados “*heuweltjies*” (pequenas colinas) foram considerados nos anos 1990 como ninhos fossilizados de térmitas, por outro lado, indícios recentes apontaram para uma gênese através da vegetação induzida pela deposição de sedimentos eólicos, segundo Cramer e Midgley (2015).

No cabo Ocidental os ratos-toupeira foram indicados como os principais construtores de montes de terra (Lovegrove e Siegfried 1986, 1989) em outras regiões por esquilos (Cox, 1984).

Em contrapartida, há numerosos estudos realizados na África que as formações desses relevos são associadas com a presença de cupins – térmitas (Figura 11)

(Darlington, 1987, 2011; Swanepoel, Milton-Dean e Henschel, 2015). Para esses autores os *heuweltjies* são considerados cupinzeiros fosseis e existem duas teorias em relação a eles, a primeira indica que foram construídos por um cupim colhedor *Microhodotermes viator* e a segunda que os *heuweltjies* foram construídos por uma espécie de cupim que agora já está extinta (Moore e Picker, 1991). As datações dessas formações foram realizadas por radiocarbono e indicam uma idade cerca de 30.000 a 40.000 mil AP (Mcauliffe et al 2019; 2022 e 2023).

Figura 11: Média dos possíveis agentes formadores do heuweltjies

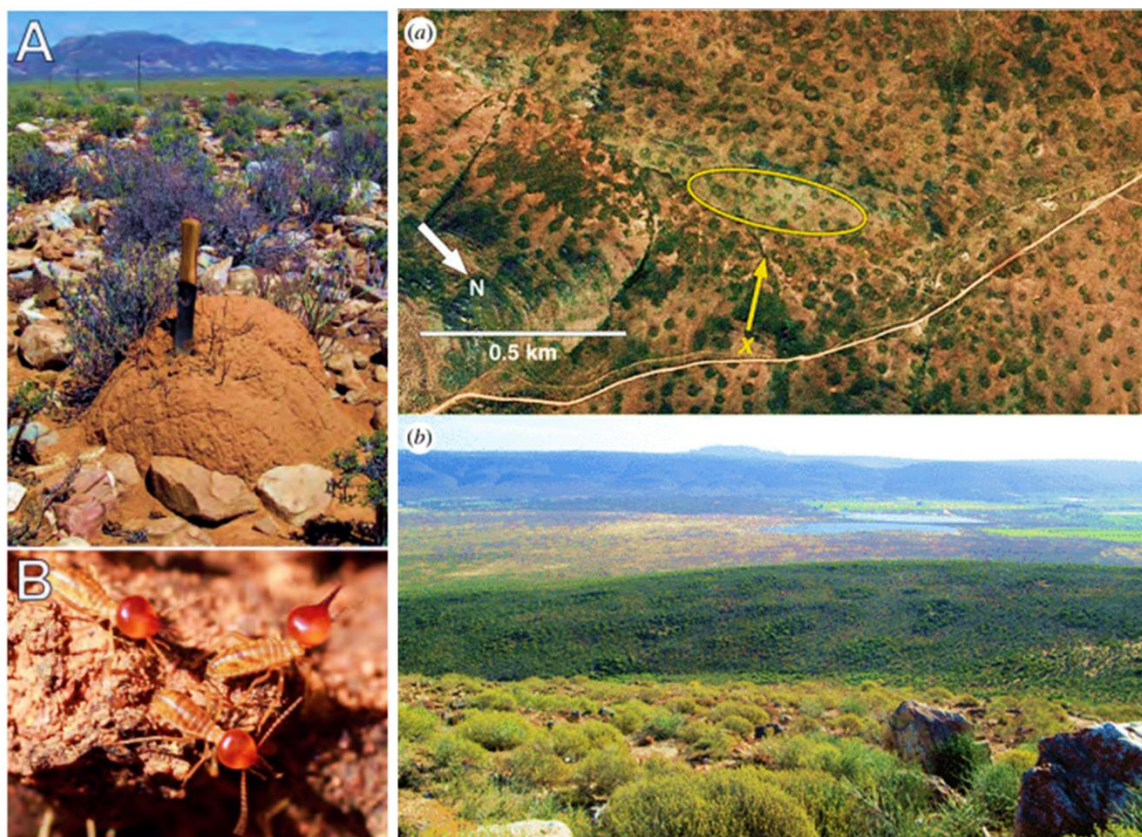


Fonte: Swanepoel, Milton-Dean e Henschel (2015).

McAuliffe (2022) menciona a presença de *heuweltjies* em uma área a oeste da África do Sul, nas províncias do Cabo Norte e do Cabo Ocidental (Figura 12). Esses microrrelevos ocorrem em solos rasos, com menos de 15 cm de espessura, e estão associados a antigos depósitos de areia eólica ou a depósitos aluviais em fundos de vales. O autor enfatiza que a influência dos cupinzeiros vai além da simples construção e habitação, impactando significativamente as características físicas e químicas dos solos da região, conforme também apontado por Lovegrove e Siegfried (1986).



Figura 12: - (A/B) Colônia de térmita em um microrrelevos de heuweltjies a oeste da África do Sul (a/b) Área exibindo a dispersão espacial dos heuweltjies com diâmetro aproximadamente de 30 cm e altura de 1 metro



Fonte: MCAULIFFE, 2023

Sob outro enfoque, estudos recentes realizados por McAuliffe (2023) apontaram que esses montes vêm sendo objetos de controvérsias há alguns anos. No estudo, o autor cita Cramer, Innes e Midgley (2012), que descrevem que os cupins não têm relação com a formação dos *heuweltjies*, mas sim que os montes são relíquias de uma superfície terrestre antiga, protegida da erosão por manchas de vegetação espaçadas.

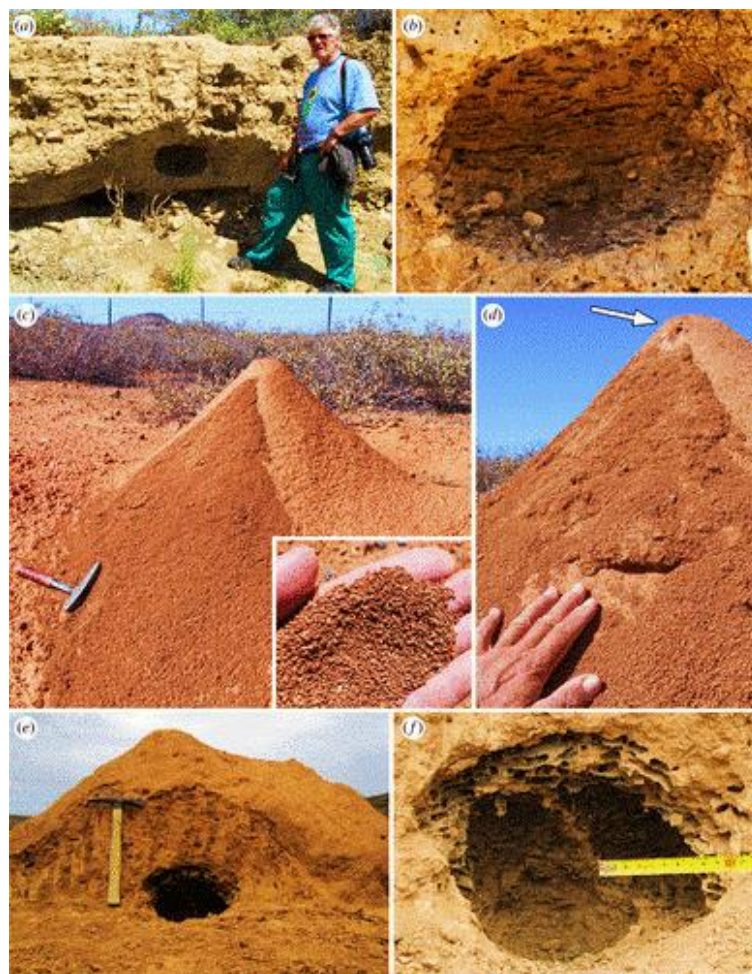
A controvérsia não se limitou a essa ideia, os membros do mesmo grupo de investigadores em associação com outros: von Holdt, Midgley, von Holdt e Cramer (2022) propuseram que esses montes são desencadeados pela erosão das superfícies da paisagem pela água que atua no local criando canais de drenagem em topografias baixas entre os montes, sendo ocasionados pela variação da distribuição da umidade.

Outras abordagens mais amplas, como as de Tarnita et al. (2017) e Bonachela et al. (2015), consideraram que a combinação de ambas as teorias é mais assertiva na explicação desses montes, associando, desta forma, o comportamento territorial dos insetos sociais às interações com a vegetação.

Lovegrove (2006), Midgley e Hoffman (1991) acreditam fortemente que sua origem é impulsionada pelos animais, fato que é reforçado como já mencionado por McAuliffe (2023), que realizou inúmeras pesquisas de campos que atestaram sua teoria, como pode ser observado na Figura 13.

Assim, apesar das contradições sobre a formação desse microrrelevo os autores consentem que independente da origem precisa dos *heuweltjies* eles são essenciais ao ecossistema local, proporcionando habitats únicos para diferentes espécies de plantas e animais, além de serem importante área de nutrientes e local de investigação devido sua espacialização temporal sendo resquícios do passado.

Figura 13: Fotografias obtidas por JR McAuliffe em 2012 e 2016 retiradas na África do Sul (a) restos de uma colmeia subterrânea (b) cavidade desintegrada que continha ninho (c e d) monte localizado a 10km de Nuwerus, Western Cape, África do Sul, solo mais escuro indicando material expelido recentemente pelos cupins (e) monte cônico de *M. viator* (f) monte que havia sido atacado por porco – da – terra.

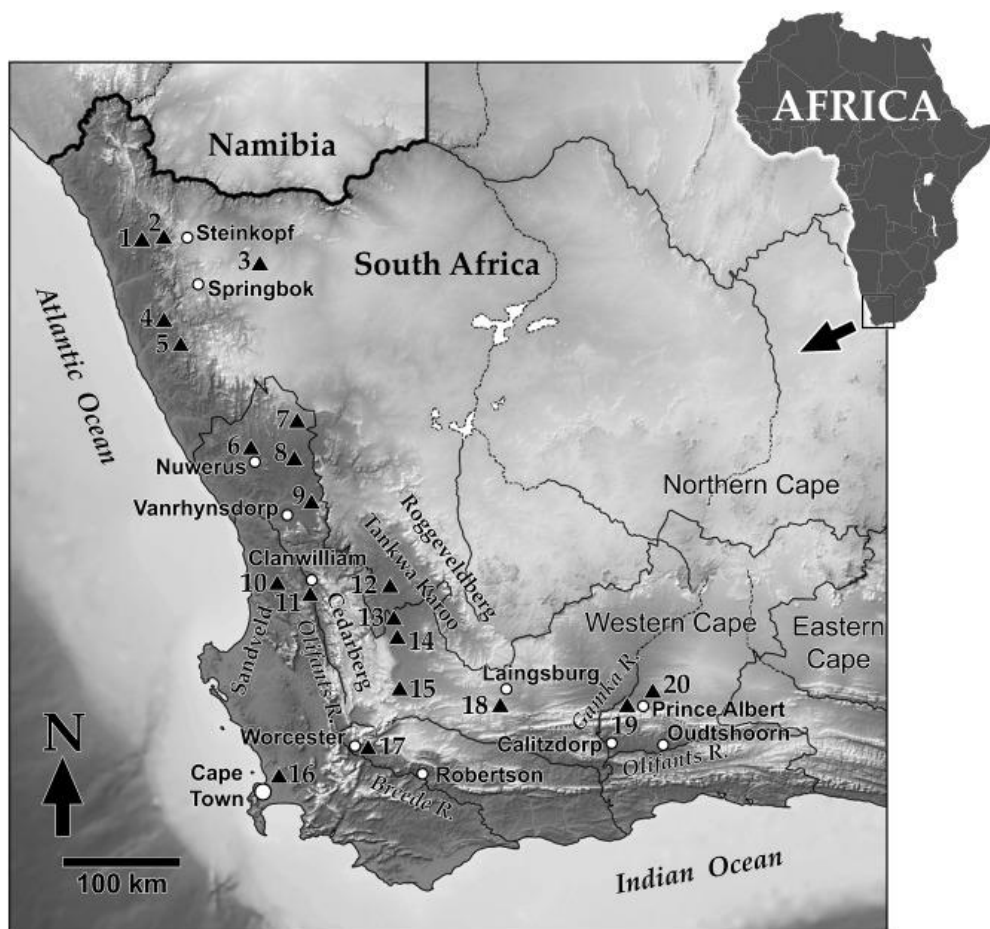


Fonte: JR McAuliffe, 2012 e 2016



Em diversas regiões da Namíbia e no sudoeste do continente africano, os heuweltjies apresentam, em média, de 10 a 15 metros de diâmetro e cerca de 2 metros de altura. Entre essas formações, é comum a presença de plantas herbáceas tolerantes a inundações (Darlington, 2007). Além disso, a datação por radiocarbono revelou que alguns ninhos de cupins associados a essas estruturas possuem aproximadamente 4.000 anos (Moore e Picker, 1990). O mapa (Figura 14) exemplifica, através dos triângulos, as coordenadas/pontos das regiões que os autores (McAuliffe et al. 2019) encontraram esses microrrelevos -especificamente na África do Sul.

Figura 14: Localização dos heuweltjies à Oeste da África do sul incluindo a fronteira Sul da Namíbia. Nesses pontos a teoria de formação dos heuweltjies são por cupins *Microhodotermes viator*



Fonte: McAuliffe et al. 2019

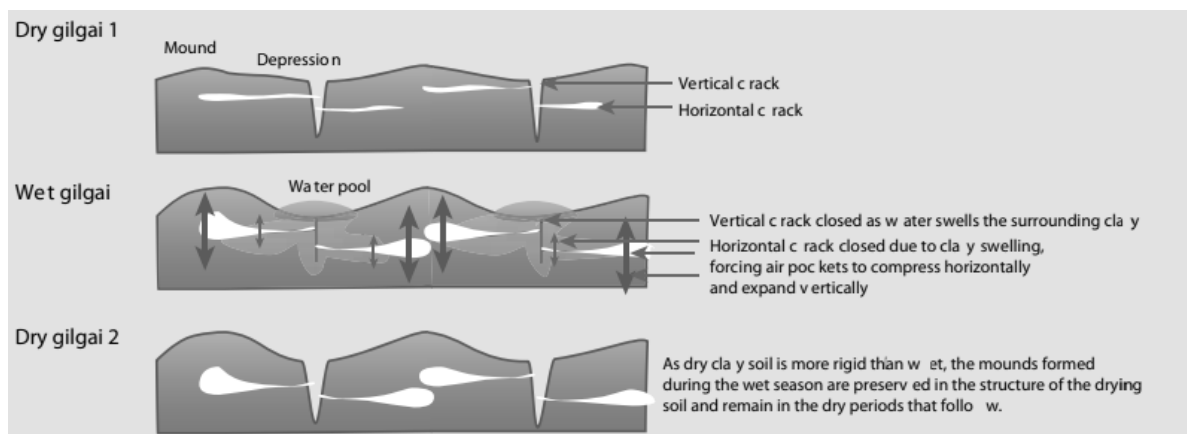
Em outras regiões dentro do próprio continente como por exemplo na região do Chade, essas características são chamadas de “Gilgai” (Diaz et al. 2016). O microrrelevo de Gilgai é definido pela presença alternada de elevações e depressões no solo e são

compostos por uma textura argilosa, além de conter minerais esmectíticos originário pelas hidratações por H<sub>2</sub>O de argilas expansivas 2/1 (Lira, 2022). Os microrrelevos são moldados por ciclos de expansão e contração que ocorrem em resposta às variações de umidade, essas características frequentemente estão associadas a áreas de depressão que acumulam água sazonalmente (Dixon, 2009) e são tipicamente encontradas em solos do tipo Vertissolo (Khitrov, 2016) ou com caráter vértico (Santos, 2018).

São caracterizados por uma topografia ondulada e cíclica com elevações irregulares e se assemelham a pequenas colinas e são encontrados em solos gilgai. Os solos gilgai são formados devido às flutuações na umidade do solo (Kishné, Morgan e Miller, 2009). Durante períodos chuvosos, a água infiltra no solo e causa expansão, levando à formação de depressões. Em períodos secos, o solo encolhe e se contrai, criando as elevações.

Essas características do solo gilgai são particularmente comuns em regiões de climas áridos e semiáridos, como as regiões áridas da Austrália, África e América do Norte (Edelman, Brinkman, 1962; Webster, 1977) Na Austrália os microrrelevos de Gilgai são conhecidos como “pequeno poço de água”, sendo conhecido localmente como (*crabhole*, *melonhole* e *gilgai*) ocorrendo também quando os solos argilosos encolhem e incham durante os ciclos de seca e umidade (Figura 15).

Figura 15: Formação de Gilgai em solos argilosos passando por períodos secos (Dry gilgai 1) e períodos de umidade (Wet gilgai).



Fonte: Conceptual Model Case Study Series

Segundo Kinnaird (1958), nos Estados Unidos da América (EUA), foram feitas as primeiras caracterizações de microrrelevos semelhantes visualmente aos murundus, com relatos que remontam ao final do século XVII em expedições à Nova Espanha e são

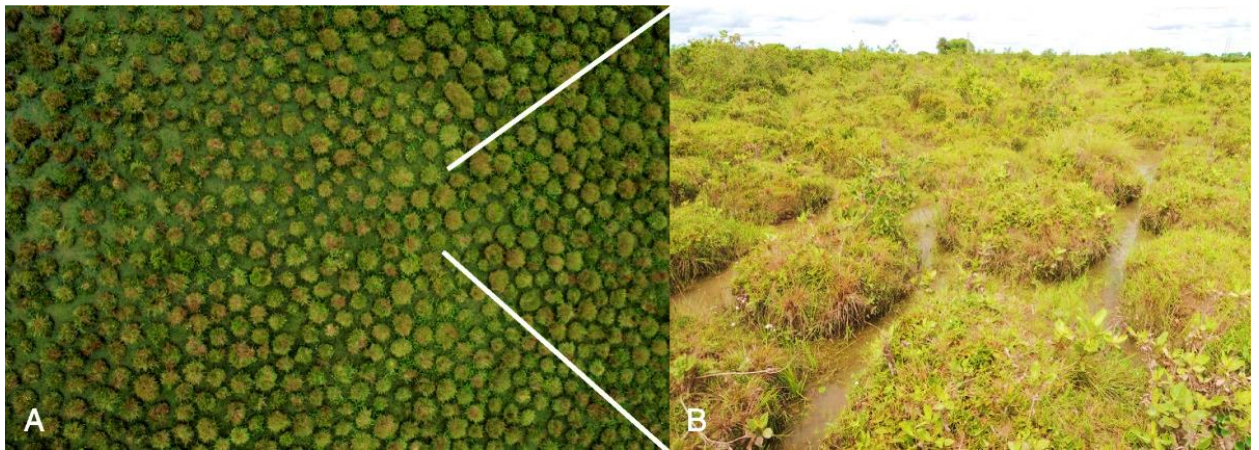
reconhecidos na região Centro- Sul como "*Pimple Mounds*" (Washburn, 1988; Cox e Scheffer, 1991; Seifert et al. 2009). Na Louisiana são encontrados em pradarias e áreas planas conhecidos como "*Prairie Mounds*" (Otvos e Price, 2001; Otvos, 2004), na Califórnia denominados "*Mima-Mounds*" (Dalquest e Scheffer em 1942; Cox, 1984; Horwath e Johnson, 2006) e em Missouri "*Mima-Type Mounds*" (Johnson e Johnson 2012).

A formação dos microrrelevos citados acima é interpretada com base em modelos zoogênicos, que incluem a participação de cupins na construção de montículos, e esses como os construtores primários em períodos de clima mais úmido e vegetação diferente (> 12.000 anos AP) (Merryweather, 1965; Burgers, 1975), associação com uma variedade de outros animais (formigas e minhocas) e segundo Milton e Dean, (1990) modelos geomorfológicos e geológicos.

Os modelos envolvendo fenômenos geomorfológicos foram citados por Aten e Bollich (1981), Periglaciais (Embelton e King, 1975), Sísmicos (Berg, 1990) e geológicos (van der Merwe, 1940). Os modelos geológicos invocam a formação de nós de solo calcificados associados a juntas principais ou falhas na rocha subjacente (van der Merwe, 1940), ou a criação de remanescentes circulares por erosão parcial de horizontes calcrete (Slabber, 1945). O acúmulo de areia levada pelo vento ao redor de aglomerados de vegetação também foi proposto como um modo de formação de montículos (du Toit 1954; Ten Cate, 1966; Visser e Toerien, 1971).

No norte da América do Sul, nas Paisagens *surales* no Orinoco Llanos, na Colômbia, os microrrelevos são construídos por uma espécie de minhoca ainda indeterminada, as minhocas constroem os montes acima do nível da água criando ilhas de solo nas paisagens, os montes na região possuem cerca de 1,5 a 2 m de diâmetro (Cunha et al. 2016) como mostra a Figura 16.

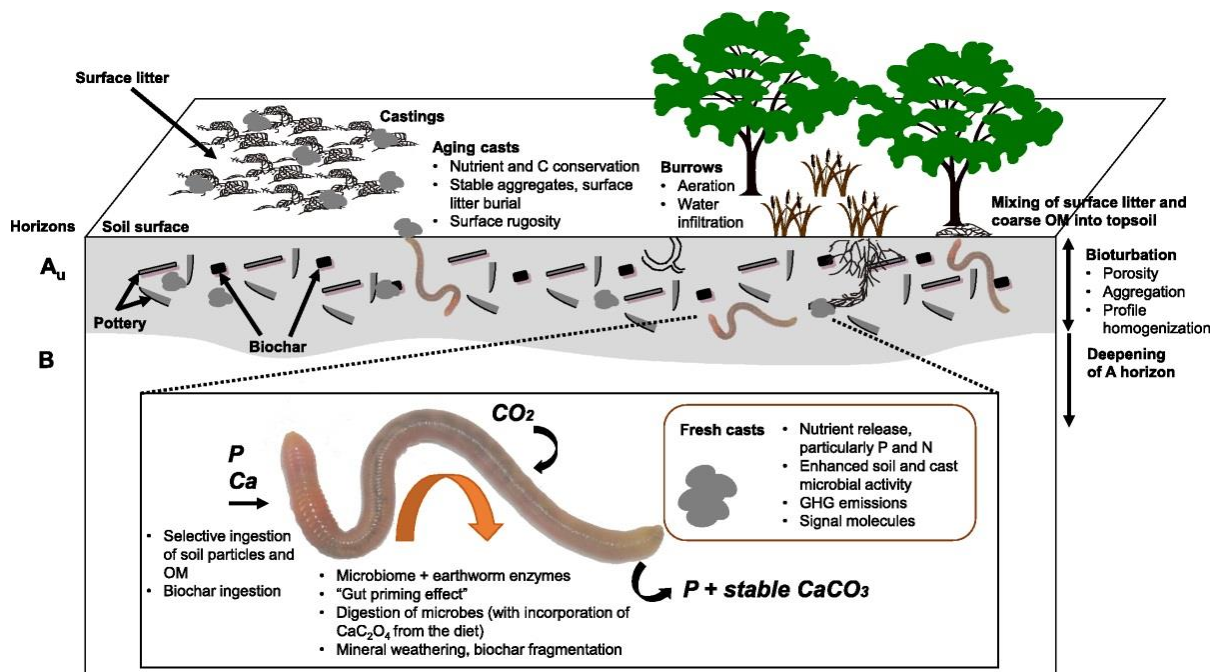
Figura 16: Paisagem surales no Orinoco Llanos (A) vista de cima (B) nível do solo.



Fonte: Cunha et al, 2016; Foto de D. McKey (2012).

O papel das minhocas no solo merece destaque, visto que, segundo Cunha et al. (2016), elas também afetam a pedogênese, a decomposição e ciclagem de nutrientes, destroem e criam novos agregados, altera a porosidade, a aeração e a infiltração da água, papel que pode ser observado na Figura 17.

Figura 17: Esquema representativo do papel das minhocas na pedogênese.



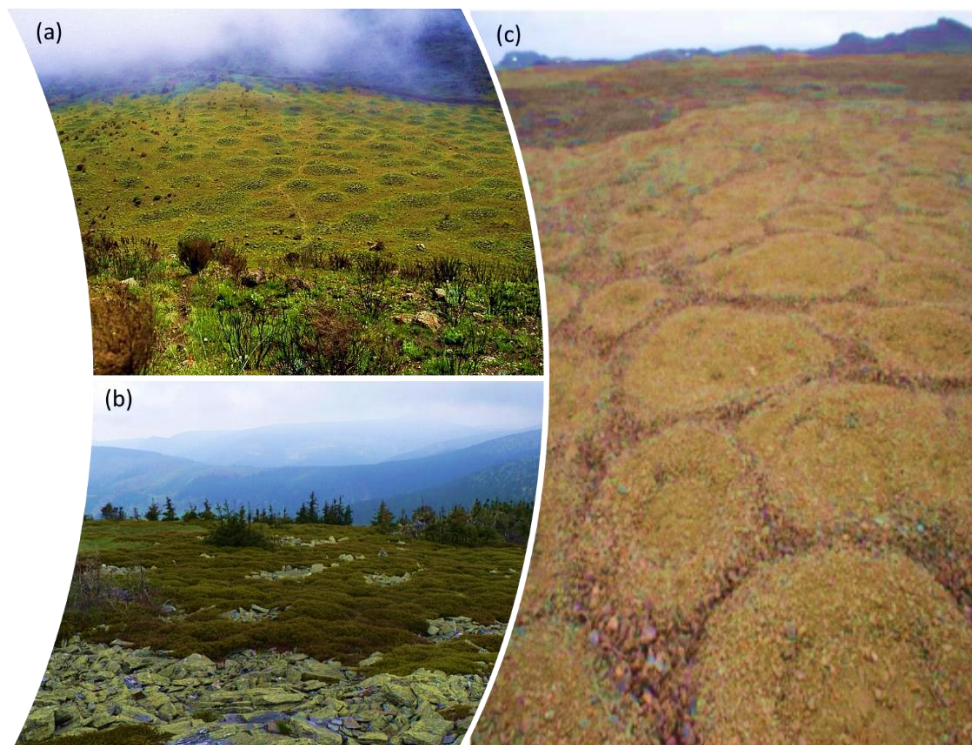
Fonte: CUNHA et al, 2016.

Na Antártica, é possível observar solos poligonais formados por processos de criogenia. O congelamento e o degelo do solo promovem a seleção e o acúmulo de



materiais, resultando nessas estruturas características (Tedrow e Ugolini, 1966). Essas formações são geradas principalmente pelas condições climáticas extremas e pela presença do permafrost na região, sendo comumente encontradas em áreas próximas ao Mar de Weddell, incluindo a Península Antártica. Sua aparência distinta, marcada por padrões poligonais que lembram uma rede de células hexagonais ou irregulares, é um reflexo dos processos geomorfológicos atuantes na superfície do solo. Além dessa região, é possível observar essa configuração em outras partes do mundo (Figura 18) (Brinkmann, 2007; Mellon, Mckay e Heldmann, 2014).

Figura 18: Solos poligonais (a) Colina Mugi – Monte Quênia (b) Montanha Bridlicna, Hruby Jeseník Mts, República Checa.

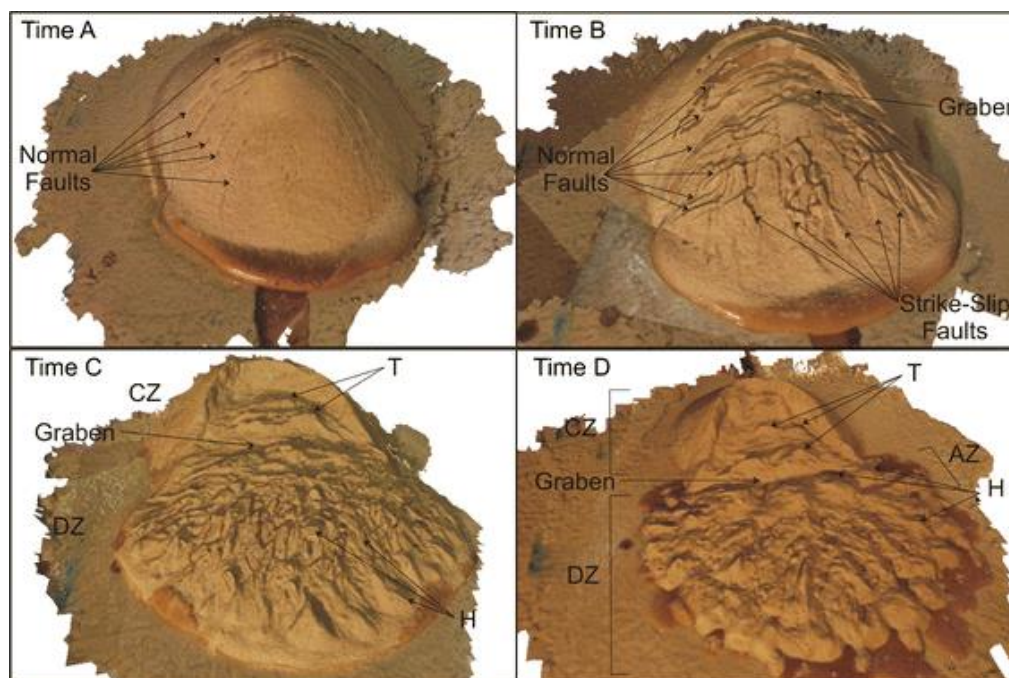


Fonte: (a) Fonte: Baker (1967) (b) Faria, 2010.

Existem ainda outros termos para descrever solos de regiões de clima frio, designados como pequenas colinas ou círculos não classificados. Os *Hummocks* são amplamente distribuídos nas regiões árticas e subárticas. Trata-se de solos com granulação fina, suscetíveis a geadas. Esses montículos podem ser formados por uma combinação de processos geológicos, incluindo o congelamento e descongelamento do gelo, a deposição de sedimentos transportados pelo gelo (Mackay, 1980) ou, ainda, por processos não glaciais, como acúmulo de material pelo vento ou atividades vulcânicas,

como observado na Figura 19 (Paguican, Vries e Lagmay, 2012, 2014). Dessa forma, essas estruturas representam feições geomorfológicas comuns em ambientes de clima frio, estando associadas tanto a processos glaciais quanto periglaciais.

Figura 19: Modelo 3D do desenvolvimento de uma avalanche de gelo e suas repercussões durante sua evolução.



Fonte: PAGUICAN, VRIES e LAGMAY, 2014

Outra forma de microrrelevo importante ao estudo são os campos de murundus, os campos de murundus são um tipo específico de paisagem dentro do Cerrado e são caracterizados por pequenas elevações de solo, geralmente costumam ser encontrados em áreas planas ou levemente onduladas intercaladas com essas elevações. Essas elevações podem variar em tamanho, desde pequenos montes até superfícies maiores. A vegetação encontrada nesse tipo de fitofisionomia pode variar, mas geralmente é adaptada às condições específicas dessas áreas, que podem ser mais secas ou úmidas dependendo da estação (Castro Junior, 2002; Marimon, 2012; Paulino et al. 2015; Moreira e Perez Filho, 2017).

Desta forma, entende-se que os microrrelevos de todo o mundo, embora compartilhem semelhanças visuais, apresentam uma diversidade impressionante em termos de processos de formação e agentes responsáveis. Desde as pequenas colinas termiteiras na África até os *gilgai* australianos, os microrrelevos representam uma janela

fascinante para a complexidade da geologia, geomorfologia, geografia, biologia e processos ambientais em diversas regiões do planeta.

Esses microrrelevos têm sido objeto de estudo por muitos anos, e a compreensão de suas origens evoluiu significativamente ao longo do tempo. Por exemplo, os *heuweltjies* na África do Sul, inicialmente considerados como ninhos fossilizados de térmitas, hoje são vistos como formações induzidas pela vegetação e pela deposição de sedimentos eólicos, ou ainda formados pela atividade de animais, como cupins, ratos-toupeira e esquilos, variando conforme com a região e as condições ambientais específicas. Assim, o quadro abaixo (Quadro 4) busca exemplificar as diferentes teorias de formação de cada microrrelevo, bem como sua espacialização geográfica e os principais autores que as abordaram.

Quadro 4: Quadro das publicações sobre as principais teorias relacionadas aos microrrelevos.

Microrrelevos	Região Geográfica	Teorias de formação	Autores
“ <i>Heuweltjies</i> ” (pronuncia-se 'hué -vil-kees'),	Continente africano  Costa oeste da África do Sul e Namíbia	Cupim colhedor do sul ( <i>Microhodotermes viator</i> )  Ratos-toupeira  Processos geomorfológicos (erosão)  Associação do comportamento territorial dos insetos sociais com as interações vegetativas.	Darlington, 1985; Lovegrove e Siegfried 1986, 1989; Moore e Picker, 1991; Midgley e Hoffman, 1991; Esler, Cowling, 1995; Lovegrove, 2006; Cramer, Innes e Midgley, 2012; Kunz, Hoffman, Weber, 2012; Swanepoel, Milton-Dean e Henschel, 2015; Cramer e Midgley, 2015; Bonachela et al, 2015; Tarnita et al. 2017; Mcauliffe et al, 2019; Mcauliffe, 2022 e 2023.
<i>Campos de murundus</i>	Brasil Áreas de cerrado Principalmente nos estados do centro-oeste como Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, além de partes de Tocantins,	Processos bióticos e abióticos  Bióticos: atividade de cupins, formigas, plantas e mamíferos fossoriais (do latim <i>fossor</i> , "cavador")  Abióticos: vento, erosão hídrica e erosão diferencial	Penteado-Orellana, 1980; de Araújo Neto, 1986; Furley, 1986; de Araújo Neto, Furley, Haridasan, Johnson, 1986; Oliveira Filho, 1992; Ponce e Cunha, 1993; Resende, Curi, Rezende, Corrêa, 2002; Castro Júnior, 2002; Resende et al, 2004; Marimon et al, 2012;

	Minas Gerais, Bahia.	Processos hidrológicos geomorfológicos, climáticos e vegetativos	de Mello Baptista, Corrêa, dos Santos, 2013; SANTOS et al, 2014 Santos et al, 2015; Martins e Rosolen, 2014; Paulino et al. 2015; Marimon et al, 2015; Souza et al, 2016; de Cássia Silva, Arruda, Fonseca, 2016; Santos et al, 2017; Moreira e Perez Filho, 2017; Pires Junior, 2017; Nazar, 2018; Silva, 2018; Pereira et al, 2019; da Silva, dos Santos Borges, Rodrigues, 2020; Souza, Delabie, Sodré, 2020; Lima e Corrêa, 2022; Rodrigues, 2023;
<i>“Círculos de fadas” (anel de fadas fairy circles)</i>	Porções áridas da Namíbia  Desertos da Namíbia, Austrália, América do Norte  Angola	Teoria dos insetos sociais Ex: Cupim de areia ( <i>Psammotermes allocerus</i> )  Padronização espacial da vegetação auto- organizada  Teoria dos gases  Teoria da alelopatia de Euphorbia	Theron, 1979; Becker e Getzin, 2000; Van Rooyen et al, 2004; Juergens, 2013; Tamvakis, 2014; Getzin et al. 2015; Vlieghe, Picker, Ross- Gillespie e Erni, 2015; Getzin et al. 2016; Van der Walt et al, 2016; Juergens et al, 2021; Meyer et al, 2021 Getzin, Yizhaq, Tschinkel, 2021; Noy et al, 2023; Walsh et al, 2023; Dibner, Doak e Lombardi, 2015; Grohmann, Oldeland, Stoyan e Linsenmair, 2010; Darlington, 2007.
<i>“Gilgai”</i>	África Central- região do Chade  Austrália, África e América do Norte  Rússia Polônia	Formados por ciclos de expansão e contração que ocorrem em resposta às variações de umidade. Associados a áreas que acumulam água sazonalmente. Solos com caráter vértico	Hallsworth, Robertson, Gibbons, 1955; Edelman, Brinkman, 1962; Wilson, Leigh, 1964; Paton, 1974; Webster, 1977; Kishné, Morgan e Miller, 2009; Diaz et al. 2016; Jewuła, Matysik, Paszkowski e Szulc, 2019; Lira, 2022.



<i>"Hummocks"</i>	Amplamente distribuídos nas regiões árticas e subárticas	Podem ser formados por: combinação de processos geológicos incluindo o movimento do gelo congelamento e descongelamento, deposição de sedimentos transportados pelo gelo ou ainda por processos não glaciais, como acúmulo de vento ou atividades vulcânicas.	Tarnocai, Zoltai, 1978; Mackay, 1980; Bourgeois, 1983; Johnson, Mickelson, Clayton e Attig, 1995; Paguican, Vries e Lagmay, 2014; Pintaldi et al, 2016.
<i>"Pimple Mounds"</i>	Região centro-sul dos EUA – Luisiana Canadá	Teorias erosivas baseadas na ação do vento e da água, correntes fluviais, submarinas e sublacustres;  Teorias erupcionais sugerindo saídas de gás, fervuras de areia e pressão hidrostática;  Teorias biológicas baseadas na atividade de formigas, esquilos terrestres e esquilos de bolso.  Processos glaciais e abalos sísmicos.	Krinitzsky, 1949; Price, Krinitzsky, 1950; Washburn, 1988; Cox e Scheffer, 1991; Seifert et al. 2009.
<i>"Prairie Mounds"</i> <i>Montes de pradarias</i>	Áreas planas e pradarias da Louisiana  Grandes planícies da América do Norte	São formados principalmente por processos naturais: Processos glaciais Ação do vento e da água	Hilgard, 1905; Aten e Bollich, 1981; Otvos e Price, 2001; Otvos, 2004; Johnson e Johnson, 2012;
<i>"Mima-Mounds"</i>	Califórnia Áreas de Pradarias Oeste de Washington	Processos de geodinâmica Atividade biológica- Esquilos ( <i>Thomomys talpoides</i> ) Combinação dos fatores	Dalquest, Scheffer, 1942; Krinitzsky, 1949; Dalquest e Scheffer em 1942; Cox, 1984; Horwath e Johnson, 2012; Gabet, Perron, Johnson, 2014.
<i>"Mima-Type Mounds"</i>	Missouri Minnesota	Esquilos de bolso ( <i>Geomys bursarius</i> ),  Esquilos terrestres ( <i>Citellus</i> spp.), texugos ( <i>Taxidae taxus</i> ), sapos	Ross, Tester e Breckenridge, 1968; Johnson, 2006; Horwath, Johnson, 2006.

		(Bufo hemiophrys) e outros animais.  Erosão hídrica, intemperismo físico e químico.	
<i>Paisagem surales</i>	Orinoco Llanos, na Colômbia  Áreas áridas e semiáridas, especialmente nas regiões desérticas da América do Sul, como o Deserto do Atacama, no Chile, e o Deserto de Puna, na Argentina.	Tectonismo  Clima árido  Erosão eólica e hídrica  Microrrelevos construídos por uma espécie de minhoca ainda indeterminada.	McKey, 2012; Cunha et al, 2016.
<i>Solos poligonais</i>	Antártica  Alasca, Sibéria, norte do Canadá e outras regiões próximas aos polos.	Oriundos de processos de criogenia  Áreas de permafrost  Contração e expansão do solo  Congelamento e descongelamento	Tedrow e Ugolini, 1966 Brinkmann, 2007; Faria, 2010; Mellon, Mckay e Heldmann, 2014.
<i>Outros Montículos Formigueiro de formigas colhedoras</i>	América do Norte Centro-sul do Colorado.	Formiga ceifeira ( <i>Pogonomyrmex occidentalis</i> -Cresson)	Gentry, Stiritz 1972; Rogers, Lavigne, 1974;

Fonte: Elaboração autora, 2024

Assim, a diversidade de microrrelevos ao redor do mundo evidencia a complexidade da geodiversidade e a importância de compreender os processos que os moldam. Mais do que simples características geográficas, essas formações refletem a interação dinâmica entre fatores geomorfológicos, climáticos e ambientais, fornecendo insights valiosos sobre a evolução das paisagens e as condições que influenciam sua formação.

#### 4.3 Caracterização de Campos de Murundus

Como já destacado no tópico anterior “Tipos de microrrelevo na forma de montes” os campos de murundus podem ser definidos como formas arredondadas ou morrotes com certa elevação que se desenvolvem em áreas próximas das cabeceiras de drenagem, vertentes, áreas com depressões ou topos de baixa declividade (Pires Júnior, 2017). Essas formações são observadas no Cerrado e normalmente estão associados a regiões com presença de água no solo. No Brasil, os primeiros relatos dessas áreas remontam ao Estado Mato Grosso, descritas por Askew et al. (1970) e no Pantanal Mato-Grossense por Guerra (1966).

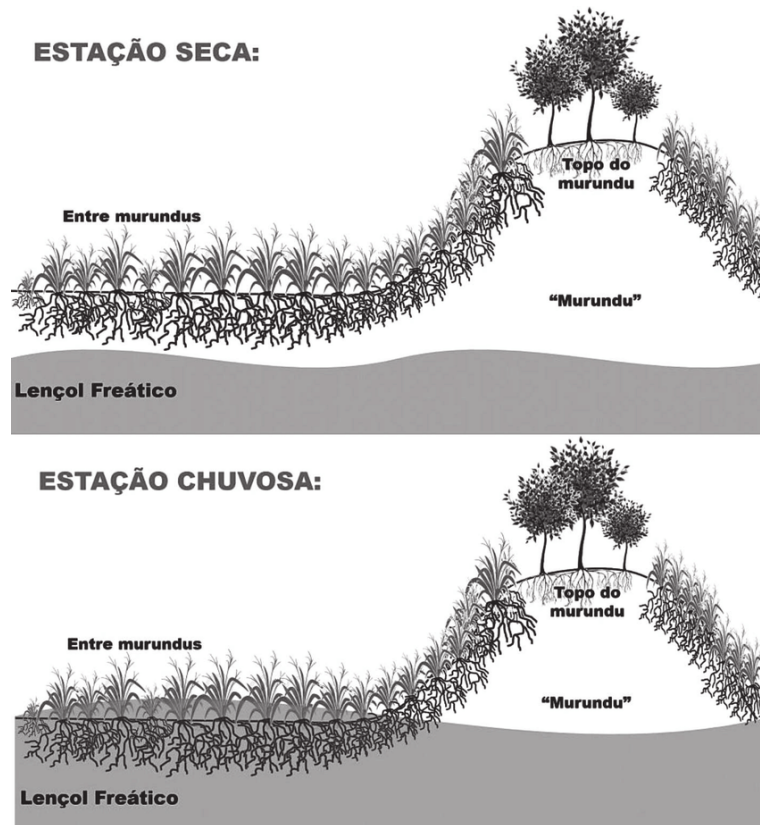
Várias denominações são utilizadas no Brasil para descrever os murundus variando de acordo com a região, incluindo murundu, murundum, morundu, cocoruto, monchão, capãozinho, ilha, morrote, varjão e covoal, conforme indicado por diversos autores, como Penteado-Orellana (1980); Furley (1985); Araújo Neto et al. (1986); Furley (1986); Oliveira Filho e Furley (1990); Paulino et al. (2015); Souza, Delabie e Sodré (2020) e Moreira e Perez Filho (2017).

Assim como as diferentes denominações existem diferentes definições para caracterização dos murundus, Araújo Neto (1981) os define como elevações semicirculares, arredondadas ou ovais, possuindo dimensões médias de 10 metros de comprimento, 70 centímetros de altura e 6 metros de largura. Já Guerra (1993) os define como pequenas elevações circulares, com mais ou menos um metro de altura por quatro a seis metros de diâmetro, sendo possivelmente dunas incipientes.

Corrêa (1989); Ponce e Cunha (1993), os caracterizam como formas circulares ou elípticas que permanecem alagados temporariamente ou permanentemente pelo lençol freático elevado, pela presença da chuva ou pela presença de microrrelevos internos, fato que favorece a acumulação da matéria orgânica podendo dar origem a solos orgânicos nas depressões.

Segundo Paulino et al. (2015), o termo abrange uma paisagem definida pela criação de elevações no solo, resultando na formação de “ilhas” ao longo de toda a área. Essas “ilhas” possuem, em média, cerca de 10 metros de diâmetro e 2 metros de altura, e se destacam pelo acúmulo de água entre elas durante a estação chuvosa, sendo a Figura 20 representativa dessa oscilação do lençol freático. Esses morrotes formam “ilhas” de cerrado com predominância de gramíneas e solos hidromórficos (Glei) e, segundo a Embrapa (1997) e Diniz de Araújo-Neto et al. (1986), também ocorrem Latossolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Quartzarênicos, além de uma seleção de espécies adaptadas a esses solos.

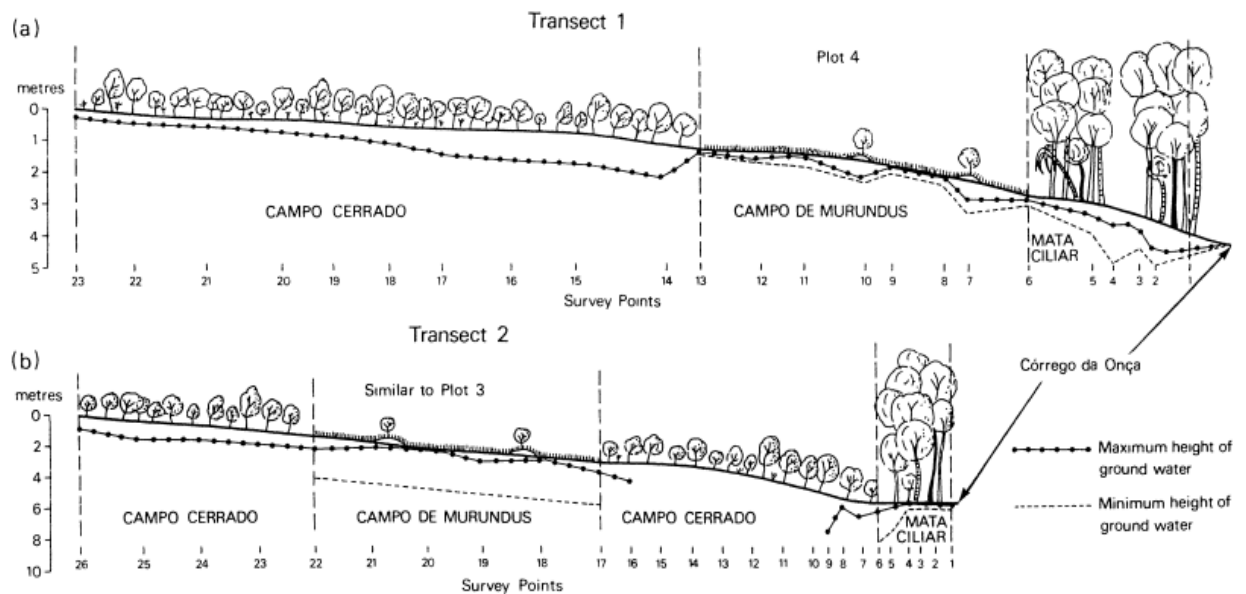
Figura 20: Esquema da oscilação do lençol freático nos murundus do Cerrado durante a estação seca e chuvosa.



Fonte: Paulino et al. (2015) p. 98

Os campos de murundus ocorrem em diferentes tipos de terrenos, como barragens aluviais inundáveis, depressões e encostas de planaltos e serras (Castro Júnior, 2002) e apresentam um comportamento único em relação à água no solo. Quando ocorrem as primeiras chuvas do período chuvoso, o lençol freático sobe e a água pode aflorar na superfície do solo, posteriormente, durante os seis meses do período seco, ou apenas gradualmente libera essa água armazenada como visto na Figura 21 (Castro Júnior, 2002; Paulino et al. 2015).

Figura 21: (a) lençol freático elevado continuamente (b) variações sazonais do lençol freático.



Fonte: FURLEY, 1986

Segundo o artigo 1º, parágrafos 2 e 3 da lei estadual goiana 16.153 de 26 de outubro de 2007:

“Os campos de murundus caracterizam-se pela ocorrência de solos hidromórficos, de coloração acinzentada permanentemente saturados por água, associados a presença de aquíferos suspensos aflorantes e subaflorantes considerados também, como zona de recarga do aquífero livre ou lençol freático. Os campos de murundus constituem área de reserva de biodiversidade, tanto da flora como da fauna.”

Assim esses locais apresentam alta saturação em determinadas épocas do ano mediante os atributos físicos e as condições climáticas, podendo até mesmo ocasionar de acordo com Brito et al. (2008) uma seleção de espécies adaptadas a solos hidromórficos, seja espécies vegetais ou animais.

No geral, essas áreas se caracterizam por ilhas dispersas de cerrado, formadas ou não pela ação de cupins, muitas vezes alagadiças, e que desempenham um papel importante na evolução do gradiente vegetacional do bioma, nas interações entre fauna e flora, na perenização de nascentes e cursos d'água, bem como na interdependência com o regime climático (Santos et al. 2014).

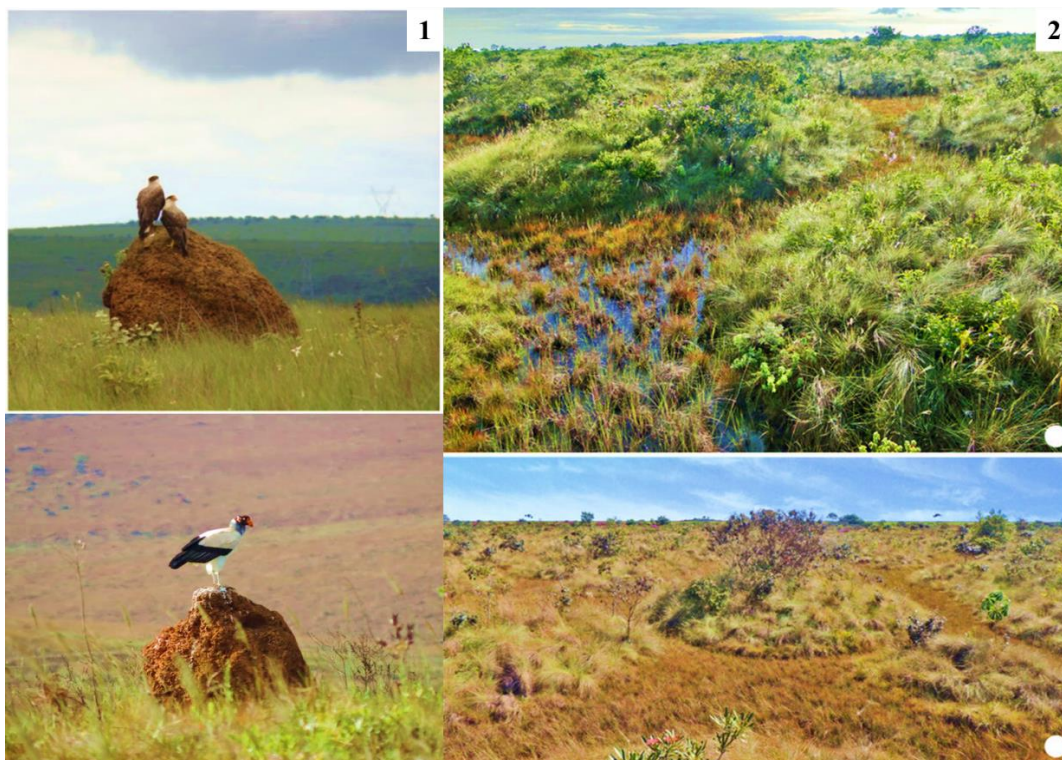
#### 4.4 Diferença de Murundus e Termiteiros

Na literatura é comum encontrar uma ambiguidade conceitual acerca da diferenciação de murundus e termiteiros, não só no âmbito teórico, mas também no sentido prático. Alguns estudos tratam ninhos de termiteiros como murundus (Paulino et al. 2015). No entanto, toda parte estrutural, forma, tamanho, material e localização podem ser diferentes.

A identificação dos fatores de distinção inclui a diferença na forma aparente, uma vez que os murundus e os termiteiros possuem características morfogênicas particulares que geram diferenças notáveis em sua morfologia. Além disso, podem não apresentar a mesma origem nem se formar no mesmo período.

Os campos de murundus, de forma geral, apresentam-se como montículos de solo de formato arredondado ou elíptico, cobertos por vegetação de maior porte no topo e menor porte no entre murundus, podendo ocorrer a presença de térmitas em seu topo. Os termiteiros também podem ser considerados microrrelevos, assim como os murundus, porém, estão submetidos a atividade das térmitas não ocorrendo processos geomorfológicos como pode ocorrer nos murundus (Moreira e Filho, 2017). Para melhor diferenciação, são importantes visitas a campo, onde é possível, por meio da observação, distinguir essas geoformas como demonstra a Figura 22.

Figura 22: Comparação entre microrrelevos: (1) Térmita (2) Murundu.



Fonte: Rogério Rodrigues Nadal (1) Pereira et al. 2019 (2).

As térmitas são organizadas socialmente e tem importante papel na ecologia, possuem hábitos alimentares, sociais, reprodutores e são capazes de construir estruturas complexas como colônias subterrâneas e montes de terra, muitas vezes chamados de "cupinzeiros". Os murundus são montes de terra que podem ou não ser construídos pelas térmitas.

A presença dos ninhos de térmitas em áreas naturais pode ocupar extensas paisagens, especialmente nos campos de Cerrados e Caatinga. Eles alteraram a aparência da paisagem, assim como os murundus, mas podem ocorrer em diferentes relevos em relação aos murundus. Essas áreas são bem drenadas, sem umidade suficiente para interferir ou interromper a construção de colônias de isópteros.

Nas áreas onde ocorre intervenções humanas (áreas antropizadas), a rotina de térmitas é frequentemente associada à manipulação de pastagens e foi em alguns estudos associadas a indicadores de pastagem degradada (Macedo, 1995; Santos et al. 2007; Aquino et al. 2008). No entanto, essa associação foi questionada por estudos como os de Pires Filho et al. (1990), Lima et al. (2011) e Dias et al. (2012). Esses estudos concluíram que a ação das térmitas pode, na verdade, contribuir para a adição de nutrientes importantes para a produção agrícola e a ciclagem de pastagens.

De tal forma, as diferenças entre essas estruturas abrangem tanto aspectos de formação quanto de aparência, além do fato de que as térmitas podem habitar tanto os termiteiros quanto os murundus. A importância dos isópteros (cupins ou térmitas) vai além da simples modificação visual da paisagem pela construção de ninhos, estendendo-se a alterações em maior escala. Esses organismos influenciam a topografia, formando microrrelevos como os murundus, e promovem mudanças significativas nas propriedades físicas e químicas do solo, como a ciclagem de nutrientes e o processo de decomposição (Holt e Lepage, 2000).

#### **4.5 Teorias de Formação de Campos de Murundus**

Há diferentes teorias sobre a formação dos murundus, neste tópico apresentaremos as diferentes teorias envolvidas no tema, sendo fundamental frisar que não existe preposição correta ou incorreta, o que é importante é entender que a gênese do murundu vai depender primeiramente do local onde se formou, das condições climáticas e outros aspectos físicos (Oliveira Filho e Furley, 1990; Ponce e Cunha, 1993).

Inúmeras teorias foram propostas para explicar a formação dos campos de murundus, levando em consideração fatores tanto bióticos quanto abióticos. Entre os fatores bióticos, destaca-se a atividade de cupins, formigas, plantas e mamíferos fossoriais (do latim *fossor*, "cavador") (Rodrigues, 2023). Por outro lado, os fatores abióticos incluem vento, erosão hídrica e erosão diferencial (Penteado-Orellana, 1980; Santos et al. 2014).

Com uma abordagem de interpretação mais geomorfológica sobre a paisagem Penteado-Orellana (1980) entende a origem dos murundus se baseando nas oscilações climáticas holocênicas, ou seja, o agente protagonista são os eventos climáticos quente/úmidos e quentes/secos, considerando a evolução paleoclimática durante o período Quaternário especificamente na época holocênica onde se formou em antigas rampas coluviais.

Araújo Neto (1981), acredita que os murundus seriam originados através de processos de erosão superficial diferencial onde as unidades de solos mais resistentes permanecem, e apresentam núcleos mais resistentes de origem laterítica e presença de gramíneas que dificulta essa erosão ou transposição do material superficial.

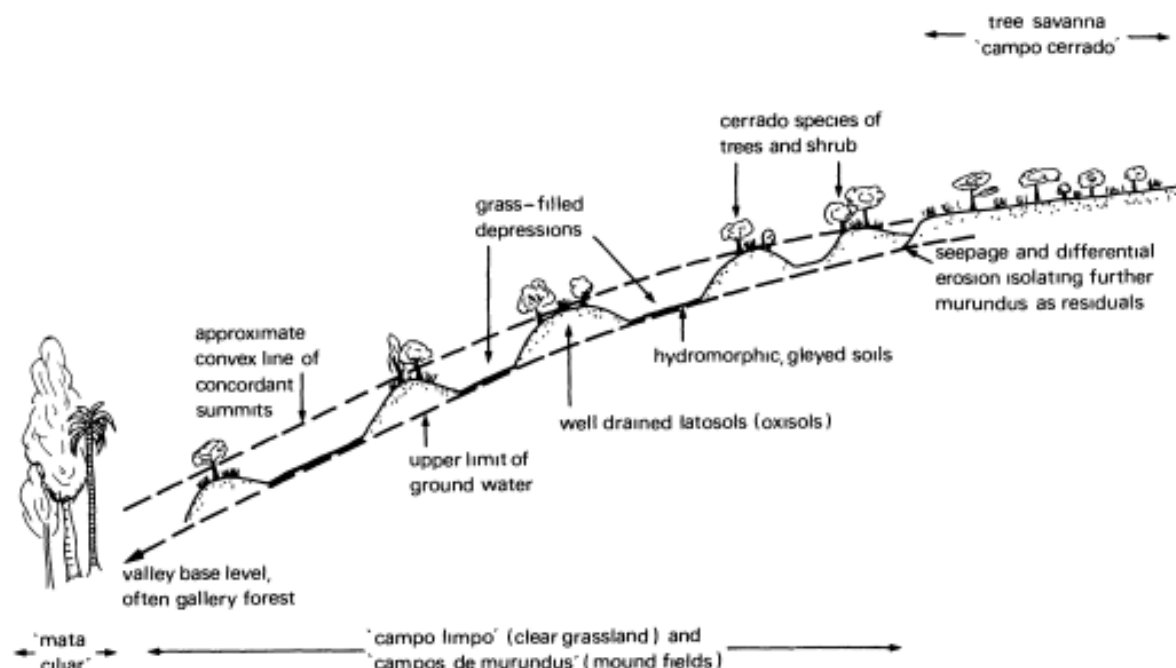
De acordo com Moreira (2017) e Rosolen et al. (2019), a origem dos murundus também está relacionada à hipótese de erosão geoquímica, atribuída a perda de solo por condições hidráulicas e topográficas encontradas em depressões úmidas na chapada Uberlândia- Uberaba.

Para Cramer et al. (2012), não existe possibilidade de os microrrelevos serem originados principalmente pela bioturbação devido à presença de blocos de rochas no interior dos montículos, onde, segundo os autores, seria impossível que as térmitas ou pequenos mamíferos transportassem essas rochas, além da presença de concentração de carbonatos em determinados horizontes do solo, indicando processos abióticos.

Furley (1986), após analisar as distribuições e configurações desses microrrelevos concluiu que existem três fatores que contribuem para a formação dos murundus representados na Figura 23, considerando os solos, vegetação e regime do lençol freático, primeiramente a ação erosiva da água superficial (degradação causada pela água da chuva pode desgastar o solo em certas áreas, resultando em depósitos de solo em outras áreas, como o topo de murundus), os afloramentos lateríticos (influenciando na formação e composição dos murundus) e o maior volume de solo retido pela cobertura vegetal (a presença de vegetação densa pode impedir a erosão do solo e reter mais solo em determinadas áreas).



Figura 23: Distribuição e características dos murundus segundo Furley (1986) em localização do tipo cabeceira sem presença de térmitas.



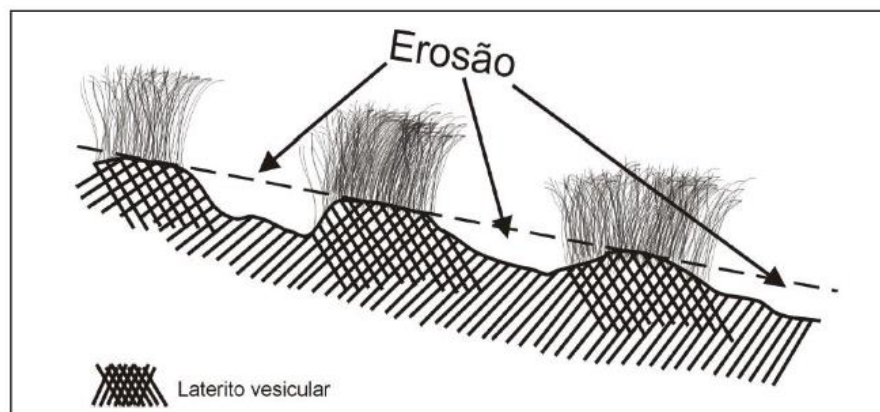
Fonte: Furley, 1986.

Silva et al. (2010), utilizou a interpretação do sinal isotópico de C3 e C4 armazenados no solo para decifrar a origem dos murundus no Brasil, o sinal oscila segundo a presença do tipo de vegetação no período analisado, assim os montículos possuiriam um sinal diferente no início de sua formação. Os autores concluíram que os montículos se formaram em áreas de savanas e em seguida foram convertidas por meio da erosão diferencial, onde em seu topo havia o sinal isotópico de matriz atual e pastagens naturais inundadas sazonalmente, assim as vegetações que não foram afetadas por erosão preservaram espécies de savana no seus topos que não seriam possíveis de se desenvolverem nas condições atuais, explicando desta maneira a presença e origem de árvores nos topos dos murundus atualmente confirmando o estudo fito fisionômico realizado por (Araújo Neto et al. 1986; Maricato, 2012; Pinto, 1993).

Batista et al. (2013), ao defenderem a teoria da erosão diferencial como hipótese da formação dos murundus, explicam como ocorre a precipitação do ferro em processos geoquímicos de Gleissolos, que gera lateritos (Figura 24). Segundo os autores:

O  $\text{Fe}^{3+}$  é reduzido por condições de hidromorfismo gera  $\text{Fe}^{2+}$ , que é solúvel e, portanto, pode ser mobilizado por fluxos oblíquos de água. Esse ferro deposita-se nas porções inferiores, gerando plintita, que, quando exposta a condições de oxirredução, endurece, formando os lateritos. As amostras dessa porção apresentam um predomínio de goethita ( $\text{FeO (OH)}$ ) e hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Na porção superior topograficamente, devido à presença de água e de condições de acidez do meio, a caulinita é quebrada, transformando-se em gibbsita (Batista et al. 2013, p. 57).

Figura 24: Processo de erosão diferencial como hipótese para formação dos murundus segundo Batista et al. 2013.



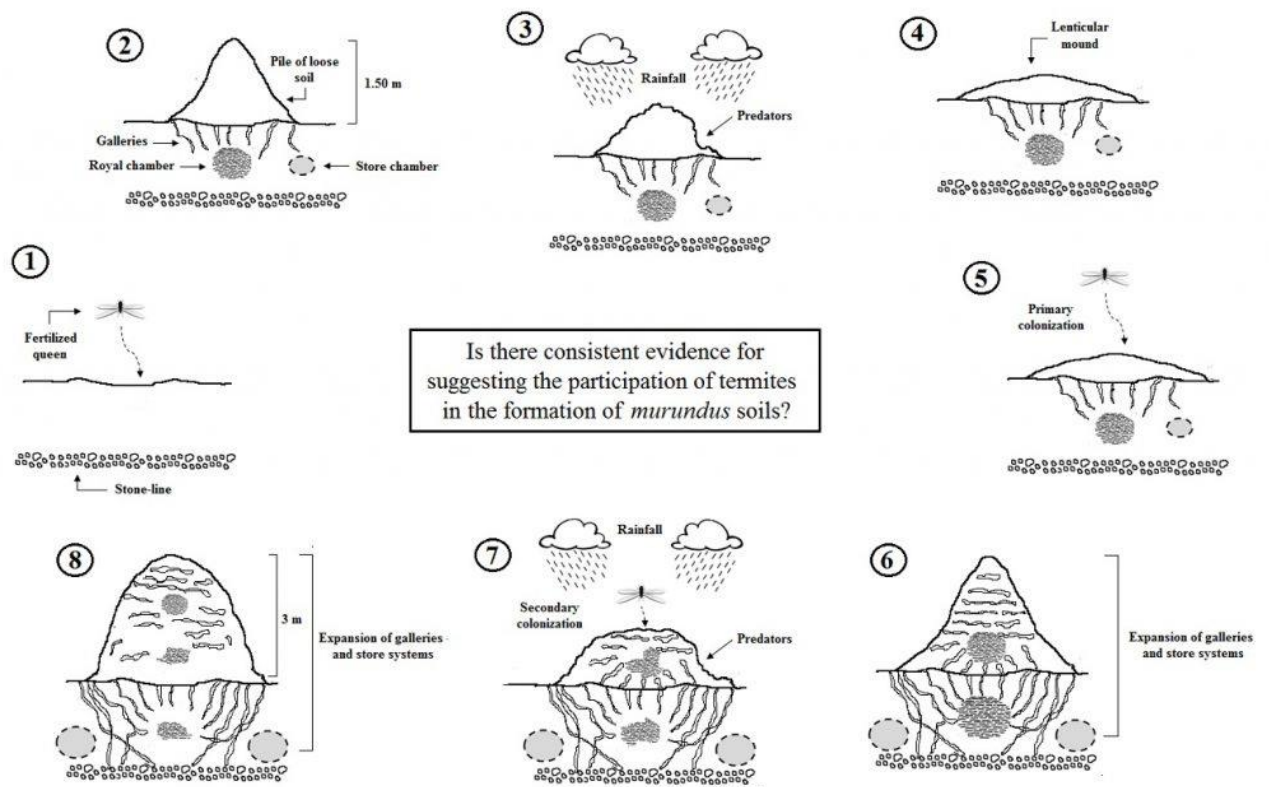
Fonte: Batista et al. 2013.

Por outro lado, descobertas recentes realizadas por Souza e Delabie (2016), derivadas de análises micromorfológicas do solo, mapeamento espacialmente explícito, modelagem preditiva e padrões de distribuição espacial, levantaram a possibilidade de que os murundus em florestas tropicais sazonalmente secas na região semiárida do Brasil possam, de fato, ter origem em cupins. Segundo os autores, a teoria da edificação pelos cupins é mais assertiva. O estudo foi realizado no semiárido brasileiro e contou com análises químicas e físicas dos solos *in situ* e adjacentes, comprovando a maior concentração de nutrientes nos murundus em comparação ao seu entorno, o que demonstra que, durante o processo de construção, os cupins enriquecem os montes com matéria orgânica e nutrientes alterando as propriedades do solo.

Adicionalmente, foi analisado um ninho epigeico construído por uma espécie específica de *Syntermes Holmgren*. As descobertas destacaram que os solos de murundus apresentavam um maior teor de argila, juntamente com maiores níveis de nutrientes (incluindo carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) e maior matéria orgânica em comparação com os solos vizinhos. Além disso, foram identificadas evidências de atividade de térmitas dentro dos murundus, incluindo vestígios de galerias, túneis e câmaras reais, indicando o envolvimento significativo de térmitas tanto na

habitação como na construção destas estruturas como ilustra a Figura 25 (Souza, Delabie e Sodré, 2020).

Figura 25: Modelo explicativo para formação de estruturas de murundus com participação das térmitas.



Fonte: Souza, Delabie e Sodré, 2020

Mathews (1977) sugeriu que essa formação envolve diferentes fases, cada uma relacionada à ação de diferentes espécies de térmitas. No primeiro momento, a espécie mais tolerante a solos úmidos (*Armitermes cerradoensis*) habita e coloniza o campo durante a estação seca. Em seguida, com a chegada da estação chuvosa, outra espécie de cupim (*Anoplotermes sp.*) busca abrigo no entorno do ninho já construído pela espécie anterior, contribuindo também com solo e larvas para o monte.

Com a morte da primeira colônia (*Armitermes cerradoensis*), o ninho começa a sofrer degradação e passa a ser invadido até mesmo por plantas lenhosas do cerrado, que colaboram no fornecimento de abrigo para predadores maiores. Ainda assim, o monte continua a crescer, mantido pela atividade da espécie *Anoplotermes sp.*, que encontrou abrigo e sobreviveu.

Nos anos seguintes, os morrotes maiores seriam colonizados por uma terceira espécie (*Cornitermes synderi*), especialmente durante períodos mais secos. Essa espécie, menos tolerante a inundações, necessita de ninhos com plataformas maiores e bases mais secas. Na fase final, os ninhos de *Cornitermes synderi* são atacados por predadores, como o tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*), e essas sucessivas degradações e reconstruções levam ao aumento do murundu (Mathews, 1977).

Para além das duas grandes hipóteses em alguns casos os campos de murundus podem inclusive ser formados por ações combinadas de térmitas e fatores hidrológicos/geomorfológicos como no caso dos murundus do Pantanal (Ponce e Cunha, 1993).

Resende et al. (2007) reitera que a gênese dos murundus pode ter relação as duas grandes teorias, inicialmente associada aos fatores bióticos com a construção dos murundus resultantes da ação das térmitas seja de cupinzeiros, formigas ou minhocas, ou relacionadas aos fatores abióticos sendo criados pela ação da erosão diferencial causada pelo escoamento superficial das águas se tratando de relevos residuais.

Ainda segundo Resende et al. (2007), independentemente da teoria considerada, este tipo de microrrelevos: (1) é comumente acometido pelo hidromorfismo temporário refletindo até mesmo na condição herbácea do local que se torna adaptativa e (2) a ocupação dos murundus por térmitas.

Oliveira Filho (1992), ao estudar essas formações encontrou evidências que apontaram que os solos desses microrrelevos são formados por erosão e degradação gradual originada pelas sucessivas gerações de térmitas, sendo, portanto, um processo de sucessão primária abarcando ambas as teorias.

Conclui-se a importância de estudos *in situ* para verificar hipóteses que buscam explicar os possíveis processos de construção desse relevo. As diferentes pesquisas realizadas no território se basearam na construção de modelos que utilizaram pesquisas bibliográficas e empíricas para tal conclusão.

#### 4.6 Distribuição Geográfica e Datações

A distribuição geográfica dos murundus traz uma importante contribuição para a discussão de suas origens, uma vez que ocorrem principalmente nos ambientes subúmidos fortemente relacionada à sazonalidade climática, onde também são afetados pelas vazões dos rios e planícies e do nível do lençol freático durante as estações seca

e chuvosa do ano, no entanto, já foram observados em ambientes semiáridos, como no Nordeste por exemplo.

No Brasil os microrrelevos variam na nomenclatura de acordo com a região que são encontrados. Nos estados de Mato Grosso e Goiás na Planície do Araguaia são denominados varjão ou monchão, segundo Eiten (1972, 1975), no entanto no Pantanal e na Depressão Cuiabana são referidos de acordo com Cunha et al. (1983) como morrote, cocoruto, capãozinho e ilha.

Na região do Planalto Central são frequentemente chamados de murundu ou murundum, de acordo com Penteado-Orellana (1980), Araújo-Neto (1981), Furley (1985, 1986) e Oliveira-Filho (1988). Em Minas Gerais, na Serra da Canastra e em Uberlândia também são conhecidos como murundum ou murundu como encontrado nos trabalhos de Nazar (2018); Silva, Borges e Rodrigues (2020); Rodrigues (2023) e Confessor et al, (2025). Já em algumas regiões do Triângulo Mineiro são intitulados como covoal (Schneider e Silva, 1991).

Segundo o levantamento de Cole (1986), no Brasil fazem parte do Pantanal, da Caatinga e da Formação Cerrado. Castro Júnior (2002) expõe que os campos de murundus no Brasil são encontrados em áreas periodicamente inundadas. Silva et al. (2010a) relataram estratos semelhantes aos encontrados na região do Cerrado brasileiro e em algumas partes da região Neotropical (Mccarthy et al. 2007), como África e Austrália (Midgley et al. 2002; Picker et al. 2007), e América do Norte (Ross et al. 1968; Mollard, 1975). No entanto, observa-se que em muitos estudos os relevos que foram reconhecidos como murundus são feições com diferentes formações e características podendo haver semelhanças com a vegetação.

Alguns estudos apresentam a presença de campos de murundu em áreas como Bahia, Minas Gerais e São Paulo. Por exemplo, Simões et al. (2012) realizou levantamentos em 1,08 ha de um campo de murundu localizado em Uberlândia, Minas Gerais como parte de um estudo para identificar os atributos dos solos e seu impacto na agricultura. Neste estudo, os autores mencionam que a profundidade do lençol freático foi aproximadamente de 2,5 a 3m e que o solo na área estudada possuía baixo índice de infiltração.

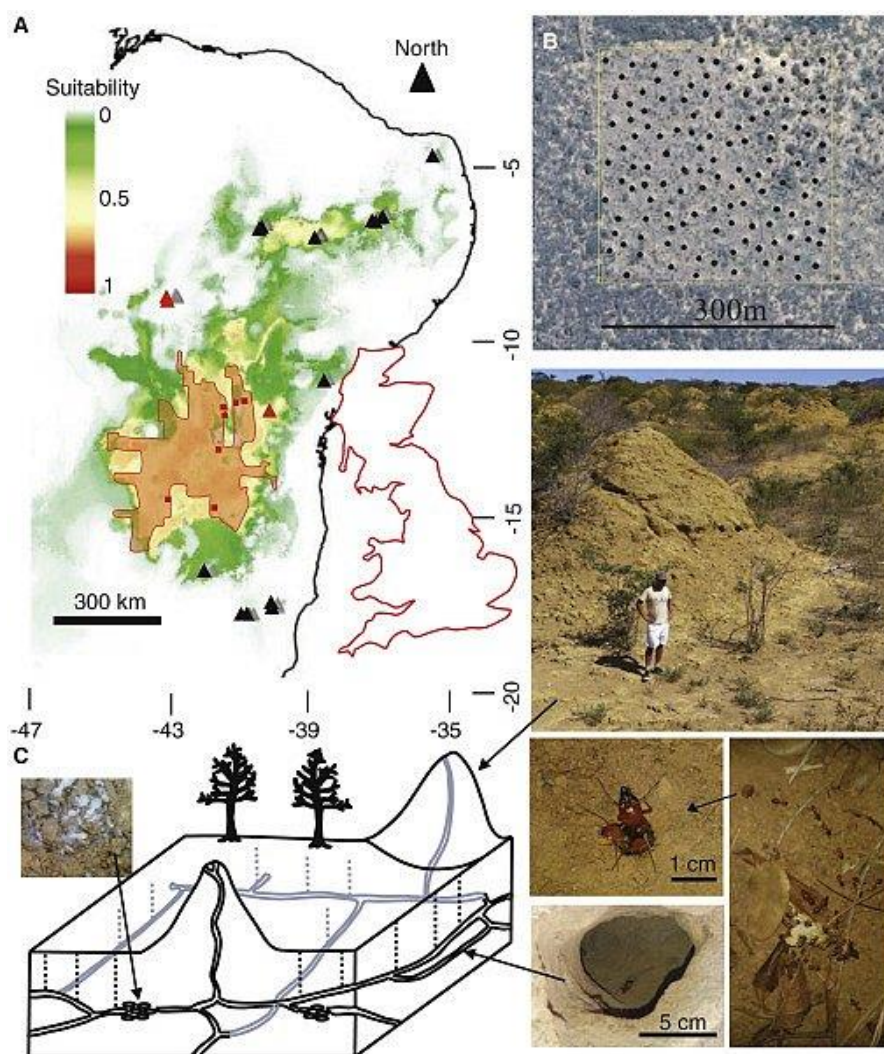
Resende et al. (2004) relatam a ocorrência de campos de murundu em áreas como o noroeste de Minas Gerais, onde as condições climáticas são caracterizadas por chuvas sazonais intensas, temperaturas elevadas, e solos com baixo índice de infiltração de água. Segundo os autores, cerca de 0,6% da área dessa região é coberta por campos de

murundu. Eles também destacam a grande importância ambiental dessas áreas, que servem como abrigo para a fauna local e auxiliam no controle do manejo e na sedimentação de cursos d'água.

Por outro lado, Souza, Delabie e Sodré (2016) menciona a presença de murundus em regiões semiáridas da Chapada Diamantina. Para os autores, as estruturas presentes nesse ambiente não são apenas ocupadas por insetos, mas também formadas ao longo do tempo por cupins construtores de montículos. Nos diferentes pontos de coletas do estudo, as câmaras reais foram construídas sobre uma linha de rochas típicas características do solo original da região. No entanto, não foram encontradas rochas ou cascalhos no interior dos túneis ou dos murundus. A camada de argila presente no local também esteve presente nos montes evidenciando o carreamento pelos cupins.

Martin, Funch, Hanson e Yoo (2018) também abordam a presença de campos de murundus no Nordeste Brasileiro, construídos por meio de escavações e da construção de túneis pelos cupins, como ilustrado na Figura 26.

Figura 26: Presença de cupinzeiros *Syntermes dirus* no Nordeste Brasileiro e relevo formado pela construção de tuneis e escavações.



Fonte: Martin, Funch, Hanson e Yoo (2018).

Diferente de áreas semiáridas, Nazar (2018) menciona a presença de materiais de bioturbação (campos de murundus) ferruginosos ou com concreções ferruginosas assim intitulados pela autora em áreas de relevo dissecado suave ondulado, adjacentes aos topos planos com presença de umidade e imperfeita drenagem no Parque Nacional da Serra da Canastra- MG.

Otvos (2004) examinou a idade dos microrrelevos em uma área de 8 km<sup>2</sup> na região sudeste do Estado do Paraná, usando datação por espectrometria de massa de <sup>14</sup>C. Os resultados mostram que a idade dos microrrelevos nesta área varia de 2750 a 3600 anos antes do presente (A.P), com maior número de amostra na faixa de 2900-3200 anos AP. Além disso, o autor concluiu que, embora os microrrelevos existam há vários

milênios, eles não se formaram ao mesmo tempo, mas em intervalos ao longo do Holoceno.

Estudos de datação absoluta realizados por Otvos (2004), Seifert et. al. (2009) e Moreira (2017) cobriram uma importante lacuna do conhecimento, por meio da utilização de geotecnologias, onde identificaram que os microrrelevos tiveram sua origem majoritariamente no Holoceno médio e tardio, com idades agrupadas entre de 2500 a 4000 anos antes do presente (AP), no entanto, existe grande dispersão nas amostras provenientes, o que indica que os microrrelevos não se formaram concomitantemente.

Já o estudo de Seifert et al. (2009) se concentrou na região de Flores da Cunha, Rio Grande do Sul, e utilizou datação por espectrometria de massa de  $^{14}\text{C}$  para determinar a idade dos microrrelevos. Os resultados mostram que a idade dos microrrelevos variou de 2800 a 3700 anos AP, com mais amostra na faixa de 3000-3400 anos AP indicando que houve vários eventos de formação de microrrelevos no Holoceno, com intervalos entre eles.

O estudo de Moreira (2017) examinou a idade dos microrrelevos em duas áreas da região de São Francisco de Paula no Rio Grande do Sul, utilizando datação por radiocarbono. Os resultados mostraram que a idade dos microrrelevos variou de 1800 a 3000 anos AP, com maior número de amostra na faixa de 2500-2900 anos AP.

Martin et al. (2018) utilizaram, em suas pesquisas, a metodologia de datação por luminescência opticamente estimulada de grão único, combinada com o modelo de idade mínima. As amostras analisadas indicaram idades dos montículos entre 690 e 3.820 anos atrás — comparáveis às dos mais antigos cupinzeiros conhecidos no mundo, encontrados na África. A área estudada abrangia cerca de 230.000 km<sup>2</sup> de floresta tropical sazonalmente seca, localizada em uma região relativamente não perturbada e climaticamente estável do Nordeste do Brasil.

Em suma, ao analisar a literatura sobre os murundus, observa-se que eles estão amplamente distribuídos no Brasil, porém com maior ocorrência no Domínio morfoclimático dos Cerrados, em áreas com relevos planos e depressões de vales com idades avançadas. Essa região é caracterizada por solos com baixa infiltração de água, além de matas de cerrado, rios e lagoas, que abrigam uma grande diversidade de fauna e independente da teoria de formação e local no mundo percebe-se a importância da preservação e conservação dessas áreas, algumas já sendo consideradas áreas de preservação natural, e outras sofrendo com o avanço da agricultura.



#### 4.7 Biodiversidade e Composição Vegetal

Os campos de murundus são ecossistemas de paisagem únicos, que apresentam uma variada biodiversidade vegetal e animal, cada região de ocorrência dos campos apresentam características próprias a depender da área de sua ocorrência, no entanto, observa-se com mais frequência nas pesquisas espécies típicas do Cerrado brasileiro.

Estudos indicam que os murundus são relíquias de um paleo Cerrado (Silva et al. 2010), preservando as espécies que se desenvolveram em ambientes antes dos campos de murundus (Oliveira-Filho, 1992). Devido as condições de umidade dos campos de murundus, a fauna e flora presente também é adaptada a tais condições. Com relação a flora, a diversidade de plantas nessa área é fortemente influenciada pelas características do Cerrado.

Resende et al. (2004), destaca algumas espécies lenhosas encontradas em seus estudos realizados em 1,08ha de um campo de murundu localizado em Uberlândia, MG, sendo elas: espécies lenhosas (*Copaifera langsdorffii*, *Pseudobombax longiflorum* e *Caryocar brasiliense*) e espécies florestais (*Pseudobombax longiflorum*, *Ocotea corymbosa*, *O. Cecropia*, *pachystachya minarum* e *Inga laurina*). Segundo levantamento realizado por Nunes da Cunha et al. (2007), Brandão et al. (2008) e Hofmann et al. (2010) nos solos dos murundus do Pantanal em uma planície alagável localizada principalmente no estado de Mato Grosso do Sul podem ser encontradas as seguintes espécies: *Curatela americana*, *Dilleniaceae*, *Bromélia balansae* e *palmeira uriri* (*Allagoptera* sp., *Arecáceas*).

Um estudo realizado em Campos de Murundus do Parque Nacional de Brasília foi relatado a presença predominante de lenhosas adensadoras: *Baccharis dracunculifolia* DC. e *Trembleya parviflora* (D.Don) Cogn além da presença de uma invasora exótica, *Melinis minutiflora* P. Beauv (capim gordura) em alguns pontos (Silva, 2018).

Na região do Pantanal de Poconé no Mato Grosso as famílias com maior número de espécies, segundo Moraes, Moraes e Lima (2014), foram *Fabaceae*, *Dilleniaceae*, *Euphorbiaceae*, *Ochnaceae*, *Bromelia balansae* Mez., *Curatela americana* L., *Alchornea discolor* Poepp., *Miconia albicans* (Sw.) Triana, *Alibertia edulis* (Rich.) A. Rich. e *Vochysia divergens* Volg. As famílias e espécies florísticas, arbórea e arbustiva encontradas no trabalho podem ser observadas na Figura 27.

Figura 27: Lista florística encontrada nos campos de murundus localizada no Pantanal de Poconé na Fazenda São Sebastião no Mato Grosso, “N” indica o número de indivíduos e “FA” a frequência absoluta.

Família	Espécie	N	FA
Annonaceae	<i>Annona dioica</i> A.St.-Hil.	66	15
Arecaceae	<i>Allagoptera campestris</i> (Mart.) Kuntze	1	1
Asteraceae	<i>Vernonia ferruginea</i> Less.	1	1
Bignoniaceae	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore	5	3
Bromeliaceae	<i>Bromelia balansae</i> Mez.	357	14
Convolvulaceae	<i>Ipomoea rubens</i> Choisy	1	1
Costaceae	<i>Costus arabicus</i> L.	1	1
Dilleniaceae	<i>Curatela americana</i> L.	213	44
	<i>Davilla elliptica</i> A.St.-Hil.	56	12
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hil.	2	2
Euphorbiaceae	<i>Alchornea discolor</i> Poepp.	656	37
	<i>Mabea paniculata</i> Spruce ex Benth.	1	1
Fabaceae	<i>Andira cuiabenses</i> Benth.	4	3
	<i>Bauhinia glabra</i> Jacq.	12	6
	<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth.	1	1
	<i>Dipteryx alata</i> Vogel.	4	3
	<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart.	4	3
Lithraceae	<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.	1	1
Malpighiaceae	<i>Byrsonima orbignyana</i> A. Juss.	16	11
Melastomataceae	<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	185	29
Moraceae	<i>Pseudolmedia</i> sp.	7	3
Myrtaceae	<i>Eugenia inundata</i> DC.	2	1
Ochnaceae	<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth. & Hook.f.	1	1
	<i>Ouratea castaneifolia</i> (DC.) Engl.	1	1
Rubiaceae	<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A.Rich.	268	36
Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i> Swart.	3	1
Simaroubaceae	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	4	3
Smilacaceae	<i>Smilax fluminesis</i> Steud.	1	1
Urticaceae	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul.	7	5
Vitaceae	<i>Cissus erosa</i> Rich.	21	7
Vochysiaceae	<i>Vochysia divergens</i> Volg	188	29

Fonte: Morais, Morais e Lima (2014).

Pereira et al. (2019) realizaram um estudo florístico focado na família *Asteraceae* em um campo de murundus localizado no município de Jataí-GO em comparação com as espécies do Parque Estadual do Araguaia. Os autores registraram 41 espécies no estado de Goiás, onde 34 são nativas da região e sete são originárias de outras regiões. O estudo menciona que o número de espécies identificadas na área de estudo superou o registrado nos campos do Parque Estadual do Araguaia e apenas duas espécies são comuns nas duas áreas (*Ayapana amygdalina* e *Chrysolaena obovata*).

Além disso, algumas das espécies identificadas na área de pesquisa também foram encontradas em outros 14 locais do bioma do Cerrado sendo elas: (*Achyrocline alata*, *A. satureioides*, *Ayapana amygdalina*, *Mikania officinalis* e *Chromolaena laevigata*) sendo algumas representadas na Figura 28.

Figura 28: Registros florísticos obtidos através do método de caminhada na região do sudoeste de Goiás (A) a. *Aquioclina alata*; b. *Ayapana amigdalina*; c. *Bidens segetum* a; d. *Chromolaena laevigata*; e. *Chresta sphaerocephala*; f. *Clibadium armani*; g. *Chromolaena maximilianii*; h. *Mikania cordifolia*.



Fonte: PEREIRA et al. (2019).

Segundo Paulino et al. (2015) nos topos dos murundus a vegetação é mais variada devido as condições físicas, sendo composta essencialmente por herbáceas, espécies arbóreas e arbustivas, já no entre murundus há a ocorrência de uma flora hidrófila que corresponde à uma vegetação adaptada a grande umidade. Todavia, é importante mencionar que devido à grande distribuição dos campos de murundus essa questão vegetativa também vai variar bastante conforme o regime hídrico do local e a gênese do solo (Schneider, 1996).

No que refere a fauna presente nos campos de murundus, não foram encontradas muitas referências e sim trabalhos voltados, na maior parte, a flora do local. Os que foram encontrados tratam da relação espécie-área que aborda a interação da comunidade vegetal com a fauna e menciona que a fauna encontrada nos murundus é principalmente composta por vertebrados com destaque nas aves (Silva, Arruda e Fonseca, 2016).

Os campos de murundus com presença de ninhos construídos por térmitas formam de acordo com Korb (2007), um micro-habitat particular para diversos outros organismos como formigas e besouros, sendo importante não apenas para abrigo, mas também

proteção e mesmo após a morte dos cupins diferentes espécies passam a habitar os antigos ninhos – aranhas, formigas, pequenos roedores, aves e até répteis.

Outros estudos mencionam que os campos de murundus abrigam espécies ameaçadas de extinção do Cerrado como tatu-canastra (*Priodontes maximus*) e o Tamanduá bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*) (Icmbio, 2018).

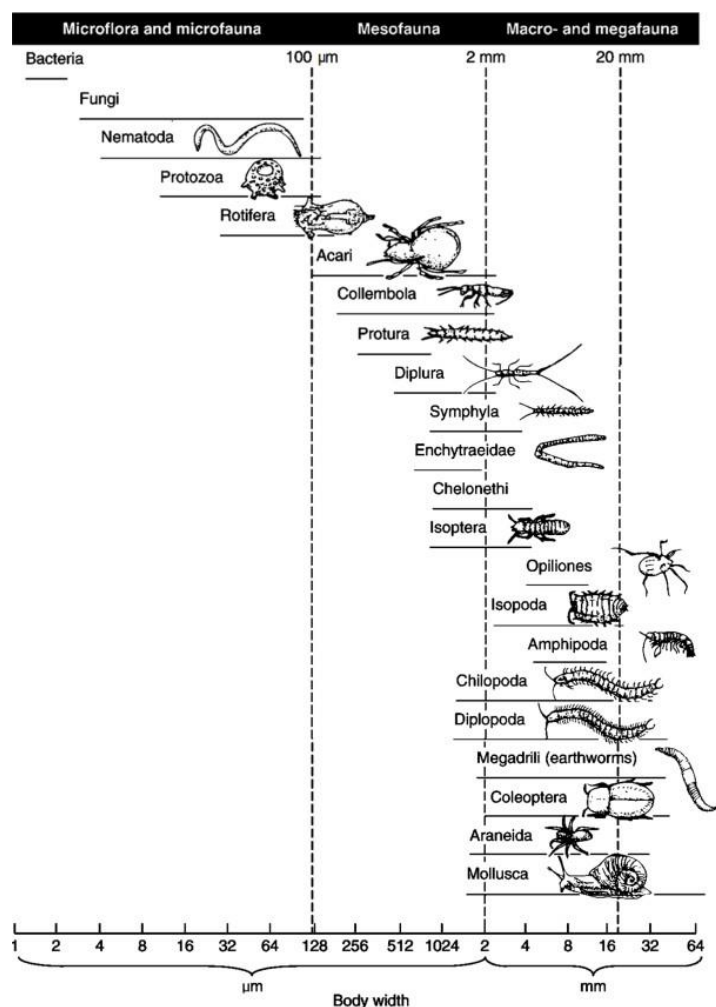
Entende-se assim a importância da conservação dessa fitofisionomia para permanência de inúmeras espécies faunísticas e florísticas, não raro algumas dessas áreas estão sendo incorporadas nos setores agropecuários acarretando a extinção de espécies endêmicas alterando o equilíbrio de todo um ecossistema.

#### 4.8 Pedofauna

A vida no solo é classificada com base no tamanho dos animais que o habitam. Lavelle et al. (1997) os dividem em: Microfauna, Mesofauna, Macrofauna e Megafauna (Figura 29). A microfauna são os invertebrados abrangendo os protozoários, nematóides e outros microrganismos unicelulares ou multicelulares extremamente pequenos de até 0,2mm. A mesofauna possui um tamanho intermediário de 0,2mm a 4mm, englobando uma variedade de insetos menores, como formigas, ácaros, colêmbolos e suas larvas.

A macrofauna é visível a olho nu e têm tamanho que varia de 4 mm a 80 mm, os exemplos incluem: minhocas, besouros, cupins, centopeias e larvas de insetos maiores sendo considerados “engenheiros do ecossistema”. E pôr fim a megafauna, maiores que 80 mm incluindo mamíferos como ratos, coelhos, tatus e outros animais de tamanho semelhante (Stork e Eggleton, 1992; Heisler e Kaiser, 1995; Lavelle, 1997; Vargas e Hungria, 1997).

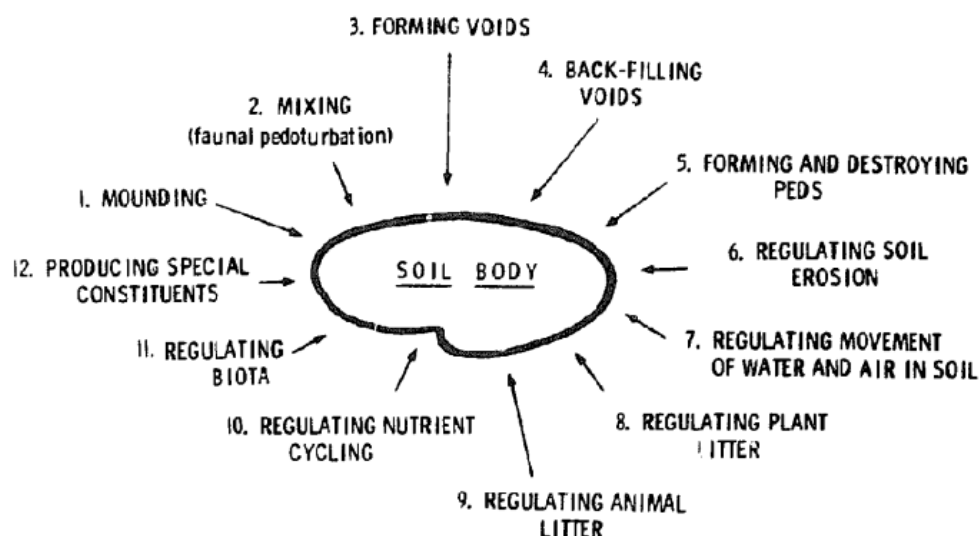
Figura 29: Classificação dos tamanhos dos organismos terrestres.



Fonte: Townsend et al., 2008

Sendo assim, o solo abriga uma ampla variedade de espécies de animais, que se distribuem tanto na superfície quanto abaixo dela (Giller, 1996). A diversidade desses organismos desempenha funções cruciais na circulação de matéria e na conversão química do solo. A atividade dos organismos do solo promove a biopedoturbação, ou seja, a capacidade de mistura, formando poros e modificando agregados, impactando também na modificação da serrapilheira e na regulação dos ciclos de nutrientes e água do ambiente (Figura 30) (Hole, 1981; Lobry e Conacher, 1990).

Figura 30: Efeito dos animais no solo.



Fonte: HOLE, 1981

A diversidade de espécies, a densidade populacional e a distribuição da fauna do solo são influenciadas por fatores como a disponibilidade de nutrientes no solo, o fluxo de energia e as interações nas cadeias alimentares (Bachelier, 1963). Consequentemente, a presença de pedofauna é mais prevalente nas partes superficiais e tende a diminuir de acordo com a profundidade (Whitford e Eldridge, 2017).

Se tratando dos solos e relevos de murundus os cupins são os mais atuantes nas áreas de interesse da pesquisa, além de serem uma importante macrofauna na atuação dos solos tropicais em geral, com isso nos tópicos seguintes serão apresentadas algumas de suas características buscando assim destacar a importância desses seres para a construção dos solos ao longo do tempo.

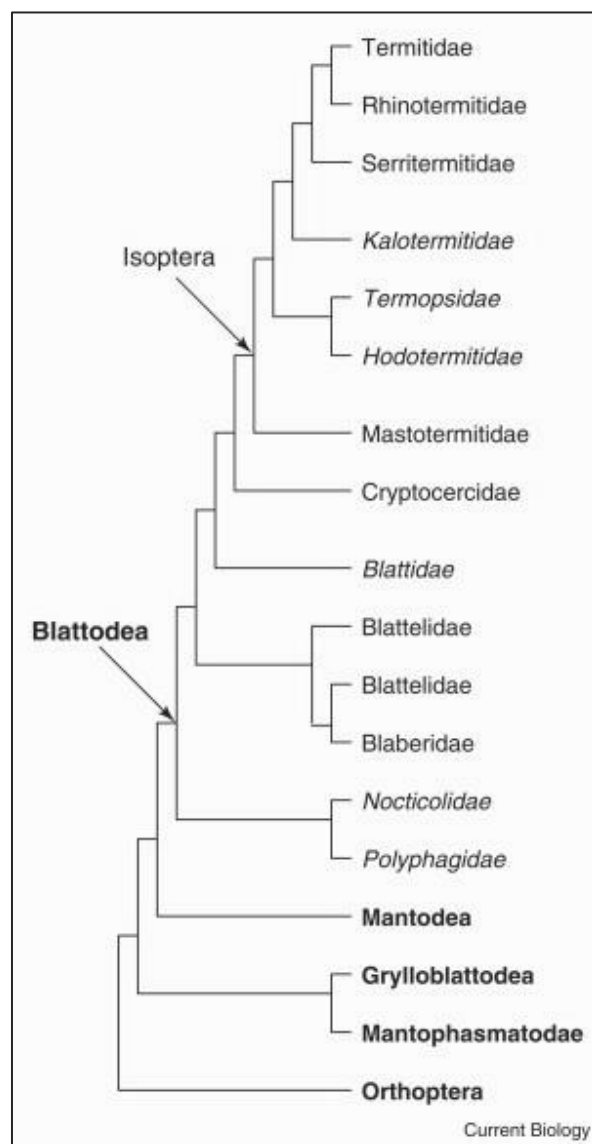
#### 4.8.1 Biologia Das Térmitas (Cupins)

Segundo Korb (2007), os cupins são insetos que remontam ao Cretáceo (130 milhões de anos atrás) e evoluíram rapidamente suas sociedades complexas. Os fósseis de cupins mais antigos indicam que eles já eram seres sociais e muito semelhantes as espécies atuais. Os cupins encontram suas raízes ao lado das baratas (*Blattodea*) e mantídeos (*Mantodea*), que juntos formam um conjunto natural conhecido como *Dictyoptera*. Assim, os cupins de fato surgiram em uma única espécie de 'barata social'

(Inward, Beccaloni e Eggleton, 2007) que se diversificou em várias famílias de cupins; Figura 11 (Kambhampati e Eggleton, 2000; Korb, 2007).

Em conformidade, Grasse (1986) apresenta sete famílias representantes da ordem dos cupins podendo ser observadas na Figura 31: “*Mastotermitidae*, *Kalotermitidae*, *Termopsidae*, *Hodotermitidae*, *Serritermitidae*, *Rhinotermitidae* e *Termitidae*”.

Figura 31: Árvore filogenética gerada a partir da análise de características moleculares e morfológicas, os Isoptera (cupins) são colocados dentro dos Blattodea (baratas).



Fonte: KORB, 2007.

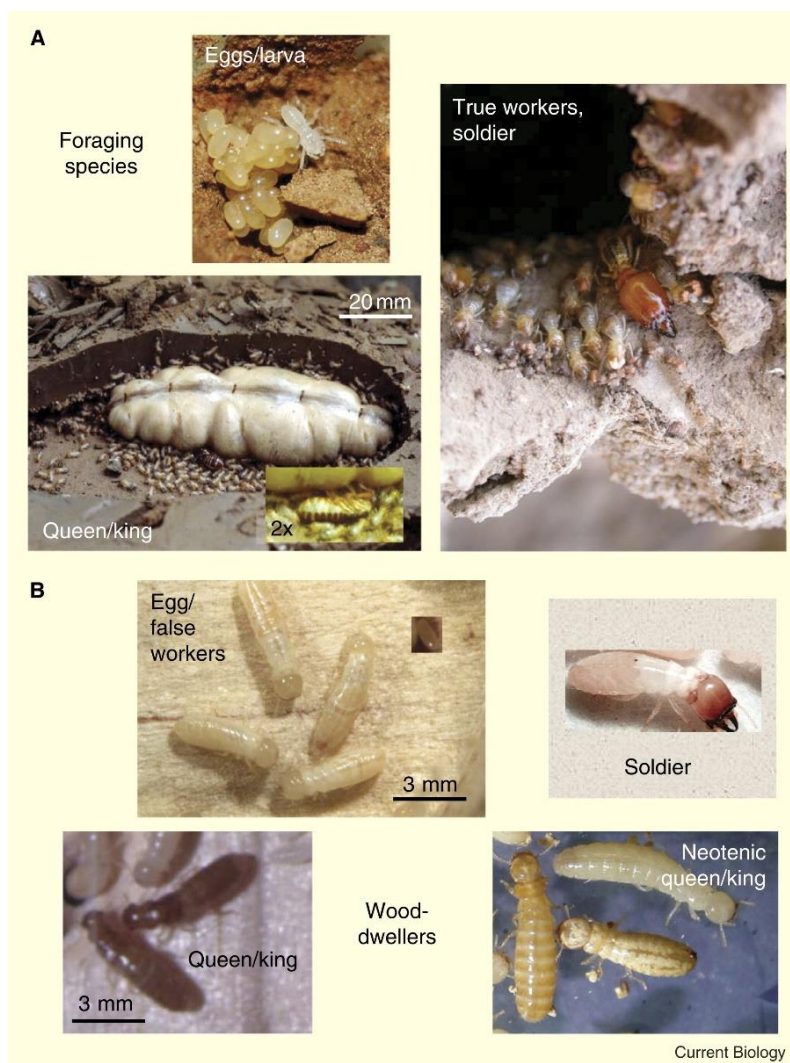
A família mais numerosa e diversa no sentido ecológico é a Termitidae encontrada no esquema de Korb, (2007) e compreende conforme Canello, (1989) as subfamílias *Macrotermitinae*, *Apicotermitinae*, *Termitinae* e *Nasutitermitinae*.



Os cupins são um grupo grande e diversificado, compreendendo aproximadamente 281 gêneros e mais de 2800 espécies descritas até o momento, sendo esse número cada vez mais alterado devido a constante média de espécies descritas a cada ano. Atualmente, 7 famílias e 14 subfamílias são reconhecidas, a grande maioria (cerca de 85%) dos gêneros conhecidos são incluídos na família Termitidae (Kambhampati e Eggleton, 2000).

De maneira geral todos os Isopteras conhecidos são *eussociais* (Thorne, 1997) e diferem dos outros insetos sociais por apresentarem vários tipos morfológicos ou castas que apresentam divisão de tarefas e sobreposição de gerações, ou seja, ocupam diferentes etapas de vida e trabalham em conjunto para a sobrevivência da espécie. Um casal reprodutor (rei e rainha; Figura 32) é o responsável por gerar uma colônia e produzir filhos que podem atuar em três funções específicas: operários, soldados e reprodutores (Higashi, Yamamura e Abe, 2000; Korb, 2007; Janei, 2013).

Figura 32: Divisão de castas de cupins.



Os operários são responsáveis pela construção do ninho, alimentação e manutenção da colônia, protegendo-a das variadas ameaças predatórias através de mandíbulas desenvolvidas ou alguma forma de defesa química ou ambos. Os soldados asseguram a segurança da colônia e por fim, os reprodutores auxiliam na manutenção da colônia, sendo responsáveis por períodos de ovoposição e produção de novos indivíduos (Abe, Bignell e Higashi, 2000).

Estudos, como os descritos por Noirot e Darlington (2000) e Krishna, (1969), indicam que a diferenciação entre castas é um fator decisivo para a sobrevivência das espécies de Isoptera, pois é a partir dela que se garante a segurança da colônia, além de auxiliar na produção de novos indivíduos. Assim, na sociedade dos cupins as características morfológicas são distintas. Outros fatores contribuem para o sucesso destas espécies, como o comportamento de alimentação, a construção de túneis para se movimentar e evitar predadores, além da capacidade de adaptação à diversidade de ambientes (Brauman, Bignell e Tayasu, 2000; Traniello e Leuthold, 2000).

Em relação aos ninhos são compostos de partículas de solo misturadas com sua saliva ou as próprias fezes dos cupins, suas construções se distribuem em ninhos subterrâneos ou hipógeos, arborícolas e egípeos (Holt e Lepage, 2000). Os subterrâneos, como o próprio nome indica, são construídos sob o solo, os arborícolas são feitos dentro ou sobre árvores, utilizando assim a madeira, e os egípeos se mesclam dentro e fora do solo. Sendo assim, uma parte do ninho fica acima da superfície (a maior parte) e a outra de forma subterrânea (Soares, 2000; Ferreira et al, 2011).

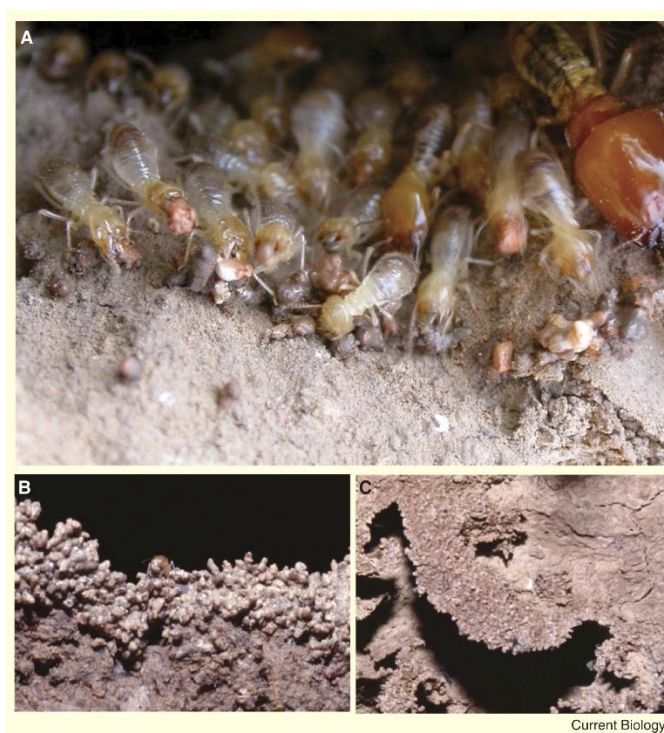
A temperatura dentro dos ninhos de térmitas é considerada por alguns estudiosos como um microclima próprio, que é relativamente constante a depender do material utilizado, localização, arquitetura e a interação de todos os fatores, tendo os cupins a capacidade de regulamentação térmica (Redford, 1984; Noirot e Darlington, 2000; Korb, 2003).

Ainda sobre a umidade do ninho, Ratcliffe et al. (1952) consideram essencial essa manutenção, pois as térmitas são muito sensíveis a essa mudança de temperatura e umidade. Noirot e Darlington, (2000) complementam que a estruturação da parte interna consistindo em galerias permitem maior ventilação e trocas gasosas, através dos poros do ninho.

Sobre os hábitos alimentares, existem quatro principais divisões para as térmitas, as xilófagas (que se alimentam de madeira), os húmívoros ou geófagos (se alimentam de matéria orgânica do solo em diferentes estágios de decomposição e essencialmente de solo), os intermediários (solo/madeira) e os ceifadores (serrapilheira) (Eggleton et al. 1996; Constantino e Acioli, 2008; Pires Júnior, 2017). Os comedores de solo geralmente podem ser distinguidos dos comedores de madeira pela morfologia intestinal (Brauman, Bignell e Tayasu, 2000).

Ainda não há dados suficientes que expliquem completamente todas as características macroscópicas dos cupinzeiros, o que temos hoje são diferentes modelos para explicar sua organização. Korb (2007) sobre a auto-organização dos cupins menciona que eles são mais propensos a depositar partículas de solo onde outros indivíduos depositaram anteriormente partículas (Figura 33), explicada provavelmente pelo acúmulo de feromônios de vida curta.

Figura 33: Cupins durante a construção do montículo (A) Cupins atraídos para locais onde outros indivíduos depositaram partículas de solo levando a produção de pilares. Ação essa que leva à extensão de pilares em paredes (B) e (C) Uma imagem macroscópica da construção.



Fonte: Salewski e Korb (2007).

Mediante os expostos reconhece-se a importância e complexidade da organização das térmitas se tornando componentes essenciais dos ecossistemas tropicais e subtropicais

e podem representar até 95% da biomassa de inseto do solo (Bandeira e Torres, 1985; Silva, 2019). Na escala da paisagem, os cupins também atuam como condutores de heterogeneidades, sua atividade de habitação no solo pode alterar a estrutura e as propriedades do solo criando habitats únicos, fundamentais para a diversidade das espécies além de por exemplo afetar o fluxo de água através do solo (Korb, 2007; Jouquet, et al. 2016) como será trabalhado nos tópicos seguintes.

#### **4.8.2 Térmitas Como Agentes de Modificação do Relevo**

No século XVIII, cientistas do solo na África e na Austrália já demonstravam grande interesse na atividade dos cupins e em seus efeitos sobre as propriedades do solo. No entanto, no Brasil, essa linha de pesquisa ainda é pouco desenvolvida, especialmente no que se refere aos murundus. Estudos como o de Smeathman (1781) já destacavam a importância dos cupins na modificação do solo. Mais recentemente, Silva et al. (2007) ressaltaram que os cupins são fundamentais para o funcionamento dos ecossistemas, ocupando diferentes níveis tróficos na cadeia alimentar do solo.

Segundo Holt e Lepage (2000), os cupins podem exercer efeitos significativos sobre o desenvolvimento do perfil do solo, suas propriedades físico-químicas, a microbiologia, a mineralização do carbono e o crescimento das plantas. Suas atividades influenciam desde a micromorfologia até a estrutura e a evolução do perfil do solo. Evidências mais recentes também indicam que os cupins contribuem positivamente para a condutividade hidráulica e a taxa de infiltração do solo. Além disso, podem influenciar a decomposição da matéria orgânica e as taxas de reciclagem de nutrientes. Assim, em algumas paisagens, os cupinzeiros podem atuar como mecanismos de redistribuição de nutrientes.

Com isso os tópicos a seguir buscam apresentar como as térmitas atuam na formação de solos, na translocação, fertilidade, ciclagem de nutrientes, propriedades químicas e influência na dinâmica hídrica, permitindo posteriormente fazer um elo com os campos de murundus.

#### **4.9 Bioturbação**

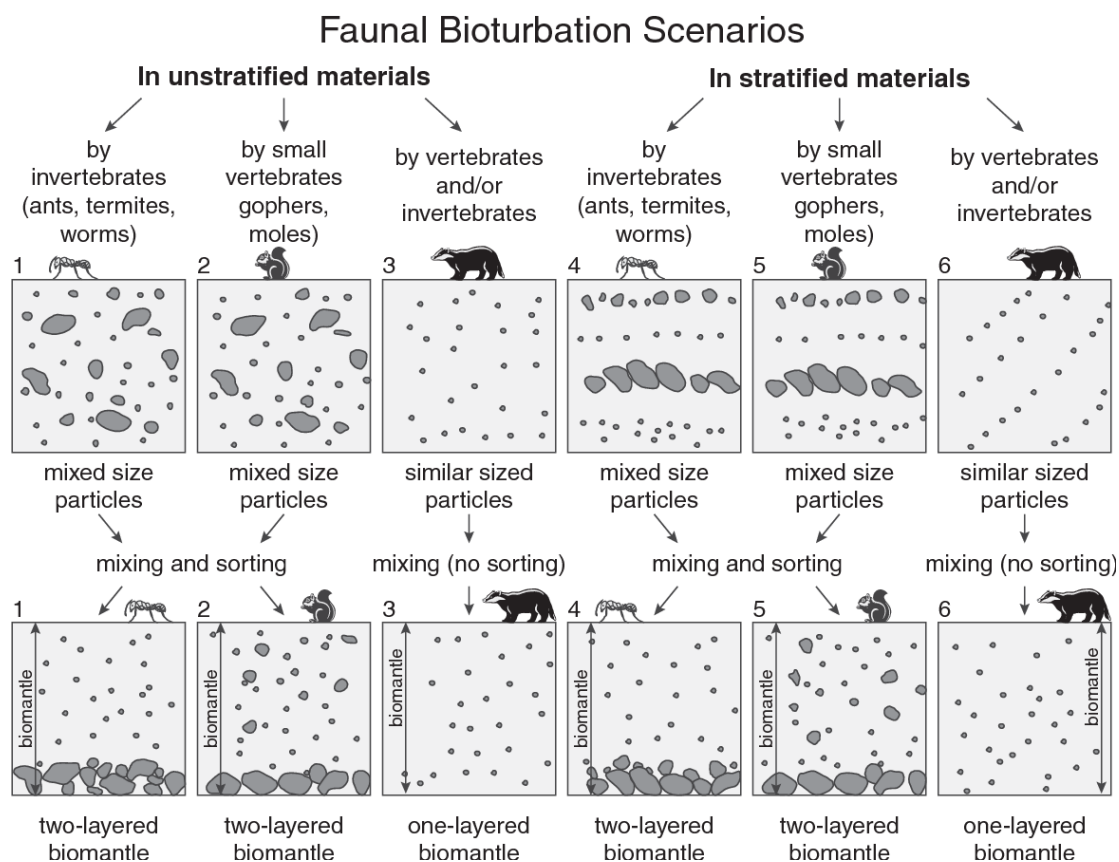
Os solos desempenham um papel fundamental na sustentação da vida na Terra e possui uma grande importância para os ecossistemas e para a sociedade. Segundo Andren

et al. (1994); Giller (1996) o solo abriga uma ampla variedade de espécies de animais, tanto na superfície quanto na subsuperfície. Esses organismos desempenham papéis essenciais na ciclagem de nutrientes e na conversão química, o que é fundamental para o funcionamento dos ecossistemas terrestres (Heywood, 1995).

As diferentes espécies de animais usam o solo de várias maneiras ao longo de seus ciclos de vida. O solo serve como ambiente para a procura de alimentos, gestação e/ou abrigo para diversas espécies. Essa variedade de espécies desempenha um papel importante na biopedoturbação, é possível encontrar na literatura uma ampla lista de grupos de animais que realizam atividades de biopedoturbação, Confessor, (2023) reuniu alguns autores em seu estudo: Entre os invertebrados, destacam-se formigas, cupins, besouros e aracnídeos (Swift et al., 2010; Sutti, 2011; Goldoni e Brescovit, 2012; Korasaki et al., 2013). Entre os mamíferos, incluem-se tatus, esquilos, roedores e coelhos (Anacleto e Marinho-Filho, 2001; Eldridge et al., 2006; Deacon, 2006; Lagaria e Youlatos, 2006). No grupo das aves, as corujas se destacam (Burton, 1973), enquanto entre os répteis, há registros de cobras, lagartos e tartarugas desempenhando esse papel (Carpenter, 1982; Alho et al., 1982; Ribas, 2005). Os anfíbios, como sapos (Ross et al., 1968), e os peixes, incluindo ciclídeos e bagres (Fink e Fink, 1978; Ishimatsu et al., 1998; York et al., 2015).

A diversidade de organismos no solo é responsável desta maneira por processos como a bioturbação, que se refere à capacidade desses organismos de revolver o solo, formar poros e modificar agregados impactando significativamente na estrutura do solo e na sua capacidade de reter água e nutrientes (Figura 34) (Wilkinson et al., 2009).

Figura 34: Representação ilustrativa da bioturbação de partículas de solos por diferentes tipos de animais escavadores incluindo as térmitas.



Fonte: Johnson e Schaetzl (2015).

O papel dos animais do solo na formação foi mencionado pela primeira vez por Charles Darwin em 1838. A construção de montículos pelos animais principalmente térmitas contribuem para a estrutura do solo, uma vez que pode inclusive descompactá-lo quebrando as estruturas, podendo também aumentar a mineralização ao mover os compartimentos anaeróbicos para os aeróbicos (Cunha et al, 2016).

Na teoria da ecologia moderna a bioturbação é identificada como um “ecossistema de engenharia” ou ainda ao processo de deslocamento físico do solo por micro-organismos gerada pela deformação do material sedimentar realizada por organismos que modificam substancialmente a estrutura física do seu habitat ou que deformam camadas já sedimentadas, como as minhocas por exemplo, além de direta ou indiretamente mudarem a disponibilidade de certos recursos para outras espécies, afetando o funcionamento dos ecossistemas através dos solos (Meysman et al., 2006; Wilkinson, Richards e Humphreys, 2009).

Os besouros por exemplo impactam na dinâmica e nas propriedades do solo, e apresentou no estudo realizado por Cheik et al (2022) em uma floresta tropical sazonalmente seca no sul da Índia um impacto maior na alteração do solo se comparado aos cupins. No entanto, a atividade de cupins diferente dos besouros foi associada à produção de macroporos permitindo concluir que, embora os cupins e os besouros desempenhem um papel importante na bioturbação do solo, os efeitos não são iguais.

Nos ecossistemas tropicais, os cupins são alguns dos mais importantes bioturbadores do solo (Brown et al., 2015) e exercem um papel importante na representação da matéria orgânica e na manutenção dos serviços ecossistêmicos. Esses serviços são indispensáveis para a sobrevivência humana, pois podem auxiliar na regulação do clima e a conservação da biodiversidade.

O movimento de biopedoturbação tem um impacto significativo nas características e processos pedogenéticos do solo esses processos incluem: a formação de horizontes (a atividade dos organismos no solo, como minhocas, insetos e raízes das plantas, pode alterar a estrutura do solo, misturando diferentes organismos e promovendo a formação de horizontes mais prevalentes) o intemperismo de elementos minerais do solo (liberação de nutrientes através das raízes das plantas); alteração de textura (através da seleção e desgaste dos materiais, principalmente através da formação de galerias e túneis) e a incorporação de materiais orgânicos e minerais no solo (na combinação da matéria orgânica em decomposição com o solo promovendo a formação de agregados) (Darwin, 1881; Eschenbrenner, 1996; Wilkinson, Richards e Humphreys, 2009; Catanozi, 2011; Patucci, 2015; Confessor, 2023).

Além disso, os organismos do solo também desempenham um papel fundamental na decomposição da serrapilheira, liberando nutrientes que estavam presos nessa matéria orgânica e tornando-os disponíveis para as plantas e outros organismos (Lobry e Conacher, 1990).

Deste modo, conclui-se que os agentes bioturbadores atuam de diferentes maneiras nos ambientes que vivem gerando alterações texturais, modificações químicas e físicas, formação de pequenos e grandes dutos, escavação e mistura, amontoamento, modificando assim a dinâmica hídrica do solo bem como criando caminhos e rupturas entre os horizontes (Darwin, 1981; Korb, 2003).



#### 4.9.1 Impacto dos cupins na formação de perfis de solo e translocação de solo

Apesar de pequenas, as térmitas, formigas, minhocas ou pequenos animais desempenham papel fundamental na reestruturação e revolvimento dos solos, inicialmente por apresentarem ampla distribuição e numerosidade, além de atuarem como “arados biológicos” através de sua capacidade de formar ou destruir agregados, tuneis, galerias, melhorarem a aeração, drenagem e alterações estruturais de forma geral (Lavelle et al., 1992; Aquino, 2001; Souza et al., 2020).

A atividade de cupins tem sido proposta como um fator importante na criação de perfis de solo com textura gradativa em algumas regiões. Na savana do norte da Austrália, por exemplo, a atividade de cupins pode ajudar a criar um perfil de solo com uma textura gradativa, onde as camadas superficiais são mais argilosas e as camadas profundas são mais arenosas (Grohmann, 2010). Isso ocorre porque os cupins constroem seus montes misturando materiais do solo, como argila, areia e húmus, à medida que constroem suas colônias, com o tempo, isso pode levar à formação de um perfil de solo com textura gradativa (Martins, 2008; Ferreira et al, 2011)

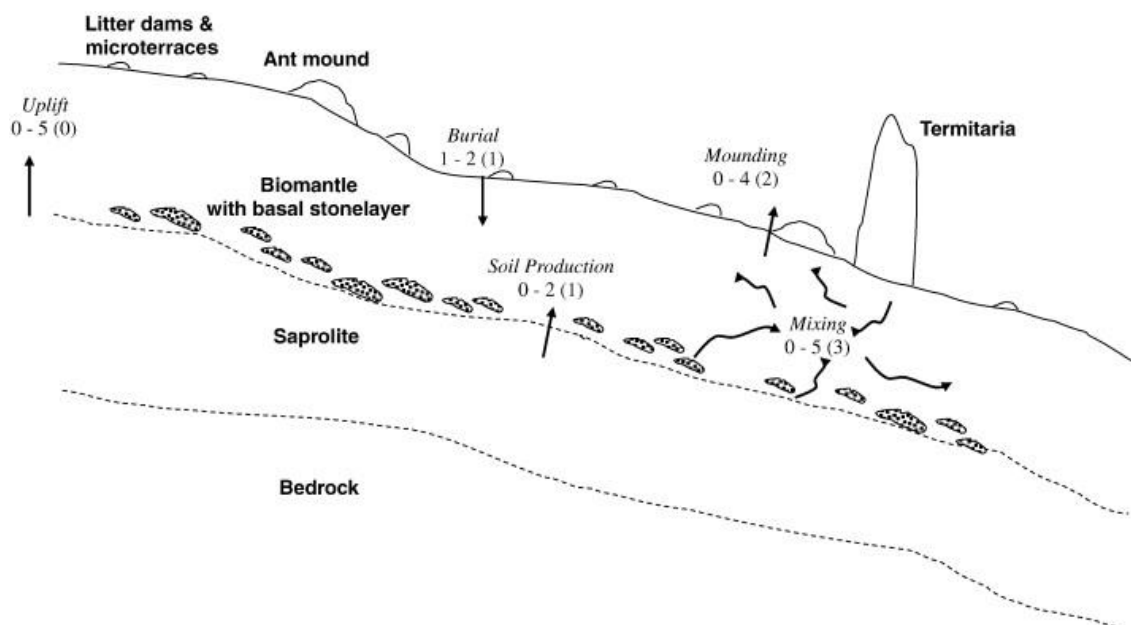
Além disso, o movimento de cupins pode levar à translocação do solo em algumas regiões. De acordo com Aloni e Soyer (1987), uma colônia de cupins humívoros que constroem montes pode translocar até 37 cm de solo em uma savana do sul do Zaire ao longo de 1000 anos. Isso ocorre porque os cupins constroem seus montes trazendo materiais do solo para a superfície e depositando-os em torno do monte. Com o tempo, isso pode levar a uma redistribuição do solo e à formação de camadas distintas de solo em torno do monte.

Durante a construção de montes e galerias de superfície, grandes quantidades de solo são translocados de várias partes do perfil para a superfície do solo. Estudos recentes usaram técnicas micromorfológicas e concluíram que as características de muitos solos tropicais são o resultado de acentuadas lixiviações por longos períodos, bem como da perturbação contínua e homogeneização, principalmente através da atividade de cupins (Trapnell e Webster, 1986; Soyer, 1987; Stoops, 1989; Lobry de Bruyn e Conacher, 1990).

Para exemplificar Fragoso e Lavelle, (1992) e Whitford e Eldridge, (2013) demonstra a capacidade aproximada de revolvimento dos solos pelos cupins, minhocas e formigas, as minhocas de savana podem promover o *turnover* de 500 a 1000 ton/ha de material por ano, as formigas 10 ton/ha/ano, e térmitas 5,5 ton/ha/ano (Figura 35) assim

os organismos do solo, como minhocas, insetos, microrganismos e raízes das plantas, desempenham funções importantes nesse contexto.

Figura 35: Esquema representativo das taxas de deslocamento de solo (ações de turnover) e formação de solo por diferentes espécies.



Fonte: Wilkinson et al. (2009)

Lee e Wood (1971) ao analisar uma ampla gama de habitats na Austrália observou que as espécies de cupins amostradas pareciam favorecer tamanhos de partículas menores, como argila e lodo, em relação a partículas mais grossas, como areia. Além disso, os cupins geralmente constroem seus montes com solos do subsolo, embora também possam usar solo superficial.

Para identificar adequadamente as origens dos montes, os autores destacaram a importância de conhecer os minerais de argila presentes no solo. Isso permitiria determinar se o solo veio do subsolo ou se é apenas solo superficial com uma proporção diferente de argila para areia. A transferência de partículas de solo escolhidas de camadas profundas para montes de superfície e outras estruturas foi apontada como tendo um impacto significativo na pedogênese, particularmente quando o monte é degradado e disseminado pela superfície. Além disso, o estudo enfatiza o impacto significativo que a transferência de partículas de solo de camadas profundas para montes de superfície pode ter na pedogênese (Lee e Wood, 1971).

Debruyne e Conacher (1995) em suas pesquisas notaram que áreas com mais argila e baixa capacidade de retenção de água tinham mais cupinzeiros que as áreas com alta capacidade de retenção de água. Meyer (1960) por outro lado encontrou muitos cupinzeiros em solos com muita umidade no Congo.

Em relação aos impactos dos cupins na aeração do solo existem duas hipóteses opostas: a primeira hipótese sugere que os cupins reembalam o solo, tornando-o mais compacto e tolerante a infiltração de água. A outra hipótese sugere que, ao integrar materiais orgânicos no solo e criar túneis, os cupins promovem a infiltração e aeração do solo (Hiren et al. 2022).

A exemplo dessa aeração com respaldo na vegetação, Robinson (1958), corroborando com a última hipótese, descobriu que ao plantar pés de café em galerias abandonadas por cupins era possível observar um maior nível de proliferação das raízes finas, além de que essas antigas galerias possuíam um solo mais escuro rico em nutrientes e menos compactado.

Essas descobertas sugerem que a atividade de cupins é um importante processo ecológico que pode influenciar significativamente a evolução do solo e a dinâmica do ecossistema (Lepsch, 2016). A atividade de cupins pode, portanto, ser vista como um importante mecanismo regulador do funcionamento dos ecossistemas tropicais, que influencia não apenas as propriedades físicas e químicas do solo, mas também a estrutura e diversidade da comunidade de plantas e animais que habitam esses ecossistemas.

Sendo assim, os cupins são uma macrofauna de solo muito importante, atuando na alteração das propriedades físico-químicas do solo, redistribuição mineral, construção de ninhos, cimentação, reciclagem de nutrientes, decomposição da matéria orgânica, entre outras atividades (Lee e Foster, 1991; Holt e Lepage, 2000; Jouquet et al. 2016; Lavelle et al. 2016).

#### **4.9.2 Ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo**

Os cupins exercem um papel vital nos processos de formação de solo e ciclagem de nutrientes. Por meio da trituração, decomposição, humificação e mineralização de recursos celulósicos, os cupins contribuem para a aeração, infiltração de água do solo e bioturbação, permitindo a troca de nutrientes entre as camadas do solo, o que é extremamente importante para o desenvolvimento de plantas (Eggleton et al. 1996, 1999; Anderson, 2005).

Segundo Castro Júnior (2002) o acúmulo de material vegetal e outros materiais nos ninhos dos cupins, como o conteúdo fecal e a saliva utilizados na cimentação das paredes, tornam estes locais mais ricos em nutrientes e sais minerais, o que resulta na melhoria da qualidade do solo. Outra importante função da saliva dos cupins é o auxílio no endurecimento das paredes do cupinzeiro, trazendo a elas uma consistência bastante rígida quase pétrea (Zanetti et al. 2010).

Estudos mostram que os cupins são responsáveis por ciclar nutrientes importantes para as plantas, como nitrogênio, fósforo e potássio, bem como promover a infiltração de água no solo, melhorando assim o solo para o crescimento e melhorando o aproveitamento da água pela vegetação (Ferreira, 2011).

Kaschuk et al. (2006) verificaram que os teores de P, K, Ca, Mg e C orgânico se apresentaram maiores no centro dos ninhos em comparação à área adjacente, o que indica a influência dos cupins na ciclagem de nutrientes. Já Ohkuma (2003) observou que as partículas de solo eventualmente são modificadas em seu trato intestinal em virtude do pH extremamente alcalino dos cupins, chegando a valores de até 12. Estes resultados indicam que a atividade dos cupins na ciclagem de nutrientes e na alteração da qualidade do solo são fatores que contribuem para o desenvolvimento e a manutenção de ecossistemas saudáveis.

Outros autores identificaram que os materiais de montículos e galerias feitas com fezes apresentaram maior capacidade de troca catiônica (CTC) redistribuição e estabilização da matéria orgânica do solo (fato que pode ser explicado pela atividade bacteriana estimulada nas fezes frescas contribuindo para o processamento posterior da matéria orgânica), além do aumento do fósforo disponível (Brauman, Bignell e Tayasu, 2000).

Em alguns estudos os locais que possuem atividade de cupins são referidos como “ilhas de fertilidade” (Schade e Hobbie, 2005). Moore e Picker, (1991) concluíram que os murundus apresentaram maiores quantidades de argila, cátions trocáveis e matéria orgânica em relação as redondezas, sendo essencial para o desenvolvimento de algumas espécies vegetais.

Jouquet et al. (2002) apresentaram que a ação das térmitas pode levar a modificações na textura de argilominerais do solo. Embora os teores de argila nos montículos de térmitas sejam normalmente 20% maiores que nos solos próximos, ainda não é totalmente conhecido se térmitas selecionam partículas específicas, se o solo é submetido a um fracionamento físico no tubo digestivo, ou se argilominerais 2:1 são

modificados, gerando formas mais expansivas. É possível que os minerais de argila sejam alterados quando partículas de solo são carregadas na boca das térmitas ou em seus intestinos (Kaschuk et al, 2006).

Holt (1998), estimou que cupins e seus simbioses poderiam contribuir com até 20% do C mineralizado em florestas semiáridas. Outros autores como Anderson e Wood (1984) identificaram cerca de quatro vezes maior presença de fósforo disponível em montes de cupins que se alimentam de solo, impactando assim na fertilidade geral do solo, pois têm uma capacidade de troca catiônica significativamente aumentada.

A CTC é um parâmetro importante para os solos, pois indica a quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas, e apresenta relação com sua estruturação. Nos solos dos ninhos de cupins em ambos os ambientes observados por Jouquet et al. (2016) a CTC foi maior, fato que pode ser explicado pela presença de maiores dimensões de argilas esmectitas nos solos de ninhos de cupins. As argilas esmectitas são minerais altamente absorventes, que contêm elementos nutritivos e permitem a retenção de água, portanto, a presença desses minerais pode explicar o aumento da CTC nos ninhos de cupins.

Algumas regiões onde a atividade dos cupins é alta percebe-se também mudanças significativas nas propriedades químicas do solo devido a maior quantidade de argila, maior CTC e constante translocação de solo, fato esse que contribui para um crescimento melhorado das plantas em regiões próximas de cupinzeiros (Coventry, Holt e Sinclair, 1988).

Assim a atividade construtiva dos cupins resulta em mudanças tanto nas propriedades químicas quanto nas propriedades físicas dos solos. Isso ocorre porque a construção de montículos incorpora subsolos argilosos ricos em cátions e deposita matéria fecal e saliva rica em matéria orgânica nessas construções (Pinheiro et al, 2013), a seguir, o material do montículo fornece ao solo superficial adições relativamente enriquecidas em nutrientes.

A atividade de cupins também pode alterar o pH do solo, comumente aumentando-o, devido à decomposição microbiana da matéria orgânica depositada pelos cupins e ao aumento da disponibilidade de nutrientes. No entanto, essas mudanças podem variar dependendo do tipo de solo e da espécie de cupim envolvida (Holt e Lepage, 2000). Além disso, o material do monte pode ter efeitos benéficos em plantas, como a melhoria da retenção de água e a redução da salinidade do solo, tornando-o mais propício para o crescimento de plantas (Lobry de Bruyn e Conacher, 1990).

Diversos estudos observaram que o material do montículo contém concentrações significativamente maiores de cátions trocáveis, Ca, Mg, Na e K do que os solos adjacentes (Lobry de Bruyn e Conacher, 1990; Holt e Lepage, 2000). Boyer (1982), também relatou a presença de ilita em proporções muito maiores em montes do que no solo circundante em suas pesquisas.

Hiren et al, (2022) todavia apontou que os solos de montículo podem apresentar diferenças significativas em relação aos solos superficiais em termos de físicoquímica e morfologia, incluindo maior densidade aparente, teor de argila, pH, carbono orgânico, cálcio, magnésio, sódio, nitrogênio e cátions de base trocáveis, porém menor porosidade, taxa de dispersão, potássio, fósforo, acidez trocável e relação C:N.

Em geral, a atividade construtiva dos cupins pode ter um impacto significativo na fertilidade e na qualidade do solo, o que pode ter implicações importantes para a ecologia e a produtividade do ecossistema. Sendo assim, é importante acompanhar os efeitos que os cupins podem desempenhar em determinada região a fim de beneficiar todo o ecossistema.

#### **4.9.3 Influência de cupins na dinâmica hídrica do solo**

Os organismos que habitam o solo desempenham um papel crucial na dinâmica hídrica (Confessor, 2023). Eles são responsáveis por criar características específicas no substrato do solo e interagir com os processos de formação do solo, influenciando diretamente a ciclagem de nutrientes e a regulação dos fluxos de água.

Para melhor compreensão da influência dos cupins na dinâmica hídrica do solo é importante entender o comportamento hidrológico paisagístico, ou seja, como a água se move e interage com o ambiente sendo essa ação influenciada por vários fatores. Esses fatores incluem o clima, relevo, tipos de solo, tipos de rochas, presença de plantas, animais e seres humanos (Bertrand, 2004; Scanlon et al. 2005). Cada um desses elementos exerce um controle individual sobre o ciclo hidrológico e a disponibilidade de água em uma determinada área (Tundisi, 2003; Tang e Oki, 2016).

A influência dos cupins na infiltração de água no solo pode ser observada em diferentes ambientes. Estudos realizados por Ferreira (2011) e Steffen (2013) em campos de golfes mostraram que os campos são muito afetados por esta dinâmica. Os cupins atuam como agentes que melhoram a qualidade e desempenho do solo na área de golfe, pois eles promovem a ciclagem de nutrientes, aeração, infiltração de água do solo,

bioturbação, formação de agregados, melhoria das condições de crescimento da grama e decomposição de material orgânico (Ferreira, 2011).

Cupins subterrâneos são conhecidos por criar túneis ou galerias no solo, o que pode afetar a infiltração e o fluxo de água no solo (Sant'Ana, 2017). Esses túneis, também chamados de macroporos, podem permitir que a água penetre mais facilmente no solo, aumentando a taxa de infiltração em áreas onde o solo é compactado ou com baixa permeabilidade (Mettrop, Cammeraat e Verbeeten, 2013; Cheik et al, 2019).

No entanto, esses túneis também podem criar fluxos preferenciais de água que levam a uma maior lixiviação de nutrientes e contaminantes do solo para camadas mais profundas do solo e, eventualmente, para o lençol freático. O impacto dos cupins subterrâneos na hidrologia, portanto, depende de uma variedade de fatores, incluindo o tipo de solo, a densidade e a atividade dos cupins, e as condições climáticas locais (Whitford e Eldridge, 2013).

Embora muitos estudos tenham investigado o impacto dos cupins subterrâneos na hidrologia, ainda há muito a ser compreendido sobre como esses insetos afetam a distribuição e o movimento da água no solo. Alguns estudos sugerem que, os efeitos dos cupins subterrâneos na hidrologia podem variar dependendo da escala espacial e temporal, bem como do contexto ecológico local (Léonard e Rajot, 2001).

As galerias e túneis criados pelos organismos podem aumentar a taxa de infiltração de água no solo e influenciar a direção e a velocidade do fluxo de água. Isso pode ter efeitos nas taxas de infiltração, retenção e sedimentação do solo (Marshall et. al, 2009).

Experimentos realizados por Marquart, Goldbach e Blaum (2020), utilizando simulações de chuva em pequena escala (50 × 50 cm) e alta intensidade (40 mm/h), analisaram os efeitos interativos de diferentes tipos de vegetação, textura do solo e a presença de macroporos de forrageamento de cupins sobre os padrões de infiltração de água. Os resultados indicaram que os efeitos dos cupins na infiltração hídrica dependem da condutividade hidráulica do solo e das características do ecossistema.

Outros estudos demonstraram que a infiltração de água pode aumentar, em média, de 1 a 4 vezes em relação à taxa natural, dependendo da atividade dos cupins, do tipo de solo e da intensidade da chuva (Lamoureux e O'Kane, 2012; Kaiser et al., 2017).

Em solos de savana semiárida com uma fração considerável de partículas finas, os cupins podem ser um fator importante para a dinâmica da água no solo. A presença de macroporos de cupins pode influenciar positivamente a infiltração de água em locais de



areia argilosa, mas não foram encontradas diferenças significativas em locais com solo arenoso grosso (Marquart, Goldbach e Blaum, 2020) Além disso os cupins podem reduzir o escoamento e a erosão do solo, o que é especialmente importante em locais degradados (Parizek, Rostagno e Sottini 2002).

Os cupins também são considerados importantes para a melhoria e manutenção da sustentabilidade dos agroecossistemas. Esta importância está relacionada ao impacto dos cupins na ciclagem de nutrientes e infiltração de água no solo (Ferreira 2011; Steffen 2013). Assim, atividades de cupins são frequentemente relacionadas à produção de galerias subterrâneas que aumentam a macroporosidade do solo, criam “caminhos de fluxo preferencial” e aumentam a infiltração de água no solo (Elkins et al. 1986; Mando et al. 1996, 1999; Mando e Miedema 1997; Léonard et al. 2001, 2004; Evans et al. 2011; Kaiser et al. 2017).

A ação de forrageamento dos cupins também exerce um efeito significativo sobre as propriedades físicas e químicas de solos com baixa condutividade hidráulica. Por exemplo, os estudos de Elkins et al. (1986) mostraram que a atividade de forrageamento aumentou a infiltração de água de 51,3 para 88,4 mm h<sup>-1</sup> no deserto de Chihuahuan, nos Estados Unidos. No entanto, esses efeitos só são observados, em escala de parcela, quando um grande número de buracos de forrageamento é criado (Léonard e Rajot, 2001).

Além disso, a atividade de forrageamento está associada ao acúmulo de folhas ricas em argila, silte e matéria orgânica, o que melhora significativamente as propriedades físicas e químicas do solo — especialmente em solos compactados e pedregosos de regiões semiáridas (Traniello e Leuthold, 2000).

Quando se trata de estrutura e infiltração de água, formigas e cupins podem melhorar a porosidade do solo e formar superfícies que auxiliam na irrigação. Por outro lado, podem também inibir a infiltração formando superfícies compactadas que auxiliam o escoamento e a erosão. Por conta disso, é importante monitorar o número de formigas e cupins em um determinado ecossistema para avaliar as diversas funções que podem desempenhar (HIREN et al. 2022).

#### **4.10 Importância da Conservação dos Campos De Murundus**

Os campos de murundus apresentam grande relevância ambiental e ecológica. No entanto, não são amplamente reconhecidos e estão sendo degradados pelo avanço de atividades humanas, como a agricultura e pecuária. Gibbs, (2000) em suas pesquisas

apresentou a importância da manutenção de densidades mínimas de áreas úmidas em paisagens dominadas pelo Homem destacando funções fundamentais de zonas úmidas para a conservação desses organismos.

Apesar de sua importância ecológica, propriedade genéticas e condições distintas de funcionamento, os murundus não são reconhecidos formalmente como áreas úmidas e de nascentes pelo Código Florestal Brasileiro por grande parte dos estados Brasileiros e estão ameaçados pelo crescimento e avanço da mineração e agricultura, exceto pelo estado de Goiás que recentemente reconheceu essas formações.

O novo código florestal de Goiás incluiu os covais ou campos de murundus no rol de Áreas de Preservação Permanentes (APPs) da Lei nº 18.104/2013, no seu inciso VII do artigo 9º, pela Lei nº 20.773/2020. O código do estado identifica os campos de murundus como “um campo úmido em terreno levemente inclinado localizado ao longo de mananciais” e aponta que tecnicamente eles têm várias características em comum com veredas, como tipo de solo, elementos de vegetação e papel ecológico e na conservação de recursos naturais físicos (água).

No estado de Mato Grosso a preocupação com a preservação e conservação de limites ambientais com o desenvolvimento socioeconômico é crescente (Santos et al, 1990). Os campos de murundus desta região é zona de transição do Cerrado para a Floresta Amazônica, e relativamente pouco se conhece sobre sua função no ecossistema local.

Além disso, nessa região observa-se também a presença dos campos em zonas úmidas no Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, adjacente ao Cerrado, a drenagem dessas áreas pode variar e reduzir significativamente o processo hidromórfico nesses solos, bem como induzir processos pedogenéticos não hidromórficos, mais oxidantes, como a formação de petroplintita que já foi observada no sudoeste de Goiás. Portanto, é extremamente importante que esse ecossistema seja conservado e protegido para evitar a destruição de seus habitats naturais (Castro Júnior, 2002).

Castro Júnior (2002) examinou que os canais escavados ao longo da superfície do solo, essenciais à atividade agrícola, podem causar o rebaixamento do lençol freático a médio e longo prazo e, conseqüentemente, perdas ambientais, tais como a escassez de recursos hídricos e destruição de ecossistemas. Isso é particularmente verdadeiro devido à falta de informação sobre esse ambiente e sua dinâmica, apesar de alguns estudos terem contemplado avaliações em campos de murundus (Lima, 2010; Silva, 2010; Assis, 2011; Martins, 2011; Silva, 2011; Maricato, 2012; Ribeiro, 2012).

O uso destas áreas está associado a abertura de drenos artificiais na produção agrícola ou utilizadas sob diferentes usos e manejos, ação que tem causado a diminuição da água nos rios e córregos da região, ou ainda sendo algumas áreas abandonadas ou em fase de recuperação. No entanto, não há muitas informações sobre sua recuperação e acabam por ficarem sem monitoramento adequado (Carneiro et al. 2009).

Também é importante notar que a má drenagem pode contribuir para elevação do lençol freático que, com o acúmulo de fertilizantes aplicados ao longo do tempo, pode aumentar a salinidade dos solos e prejudicar as plantações (Furley, 1985; Castro Júnior, 2002). Para lidar com essas questões, é necessário entender os princípios básicos e funcionalidade da rede de drenagem e traçar estratégias de prevenção e/ou mitigação de curto, médio e longo prazo.

Alguns estudos analisaram o Carbono Total no solo e evidenciaram a importância de áreas de murundus para o estoque de carbono. Bernoux (2002), atesta em suas pesquisas que o carbono orgânico no solo está presente principalmente nos primeiros centímetros do solo, possuindo relação direta com a deposição de matéria orgânica superficial e desta forma suas coletas foram feitas em profundidades de 0 -10 cm; 10 -20 cm; 30 -50 cm, constatando a necessidade da manutenção dessas áreas.

Os campos de murundus em alguns estudos são considerados sistemas florísticos ecológicos de transição localizados em áreas conhecidas como ecótonos (Eiten, 1972; Araujo Neto et al., 1986; Furley, 1986; Oliveira-Filho e Furley, 1990), onde comunidades ecológicas diferentes se encontram. Esses ambientes também são indicadores potenciais de respostas às mudanças climáticas, atuando como reguladores de fluxos e contribuindo para a perda de carbono e o aquecimento global. Além disso, alguns trabalhos têm demonstrado que existe uma relação direta entre a diversidade florística e a heterogeneidade climática e ambiental, em especial a variação de fertilidade e umidade nos campos de murundus (Kark e van Rensburg, 2006). Por exemplo, Haidar (2013) mostrou que as alterações nos atributos dos solos resultantes da conversão de campos de murundus para sistemas agrícolas resultaram em mudanças na produtividade da agricultura.

A biota dessas áreas úmidas está intrinsicamente associada ao local e, portanto, vulneráveis a extinção, além de ser essencial para a biodiversidade por apresentarem fauna e flora endêmicas, estocam carbono do solo (Rosolen e Souza, 2014) apresentam intensa atividade biológica, funcionam como filtros para resíduos, pesticidas e fertilizantes usados na agricultura e ainda diminui as mudanças na descarga hídrica pela

ocorrência de chuvas locais, estocando e regulando o fluxo hídrico na bacia hidrográfica (Jesus et al. 2017).

Um estudo realizado por Redford (1984) analisou o papel dos termiteiros de *Cornitermes cumulans* na ecologia do cerrado brasileiro e considerou que essa espécie é uma 'espécie-chave' devido ao seu importante papel na manutenção da biodiversidade local. Segundo o autor, os montículos construídos por essa espécie são habitados por pelo menos 17 espécies de outros cupins e dez espécies de formigas, além de outros inquilinos como os tatus, que são grandes consumidores de cupins.

A presença de uma grande variedade de espécies nos montículos sugere que eles oferecem um habitat diversificado e importante para a manutenção da biodiversidade local. O autor observou que em apenas 1% dos ninhos estudados foi detectada a presença apenas de cupins. A eliminação dos termiteiros de *Cornitermes cumulans* poderia resultar em uma série de extinções locais devido à dependência de outras espécies em seu habitat o que mais uma vez mostra a importância da conservação desses montículos para a manutenção da biodiversidade do cerrado brasileiro.

---

## *MATERIAIS E MÉTODOS*

---



*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.” (Arthur Schopenhauer)*

## 5 MATERIAIS E METODOS

A metodologia de pesquisa desempenha papel fundamental na condução dos estudos acadêmicos, proporcionando um arcabouço teórico e prático para a realização de investigações científicas, fornecendo assim diretrizes e procedimentos para coleta, análise e interpretação de dados.

A metodologia proporciona um quadro estruturado para a condução da pesquisa garantindo que sejam realizadas de forma sistemática e rigorosa, sendo guiada por princípios fundamentais que incluem objetividade, sistematização, replicabilidade e validade dos resultados. A escolha adequada da metodologia depende da natureza do problema em estudo, do contexto em que ela está inserida e dos objetivos a serem alcançados.

Mediante a natureza do estudo a pesquisa se baseou em algumas etapas de trabalho a fim de dar suporte e auxiliar as indagações apontadas. A fase inicial constituiu-se no levantamento bibliográfico prévio de possíveis temas relevantes a Geomorfologia, temas que demandavam mais conhecimentos sobre e que fossem de interesse a ciência geográfica. Após realizada a escolha do tema foi realizado a escolha da área de estudo integrando o objeto de estudo ‘murundus’. Com as definições iniciais concretizadas, o trabalho buscou atender as três abordagens da pesquisa científica: gabinete, campo e laboratório.

Na fase de gabinete foram realizados os levantamentos bibliográficos sobre a temática buscando entender a problemática de todo contexto, identificando diferentes tipos de microrrelevos pelo globo terrestre ressaltando, no entanto, os murundus. Assim as leituras buscaram compreender melhor o objeto de estudo apontando sua definição, caracterização, teorias de formações, distribuição geográfica, importância ambiental e coabitação com o ambiente. Essa fase contou também com a caracterização da área de estudo, confecção de mapas e análises de dados.

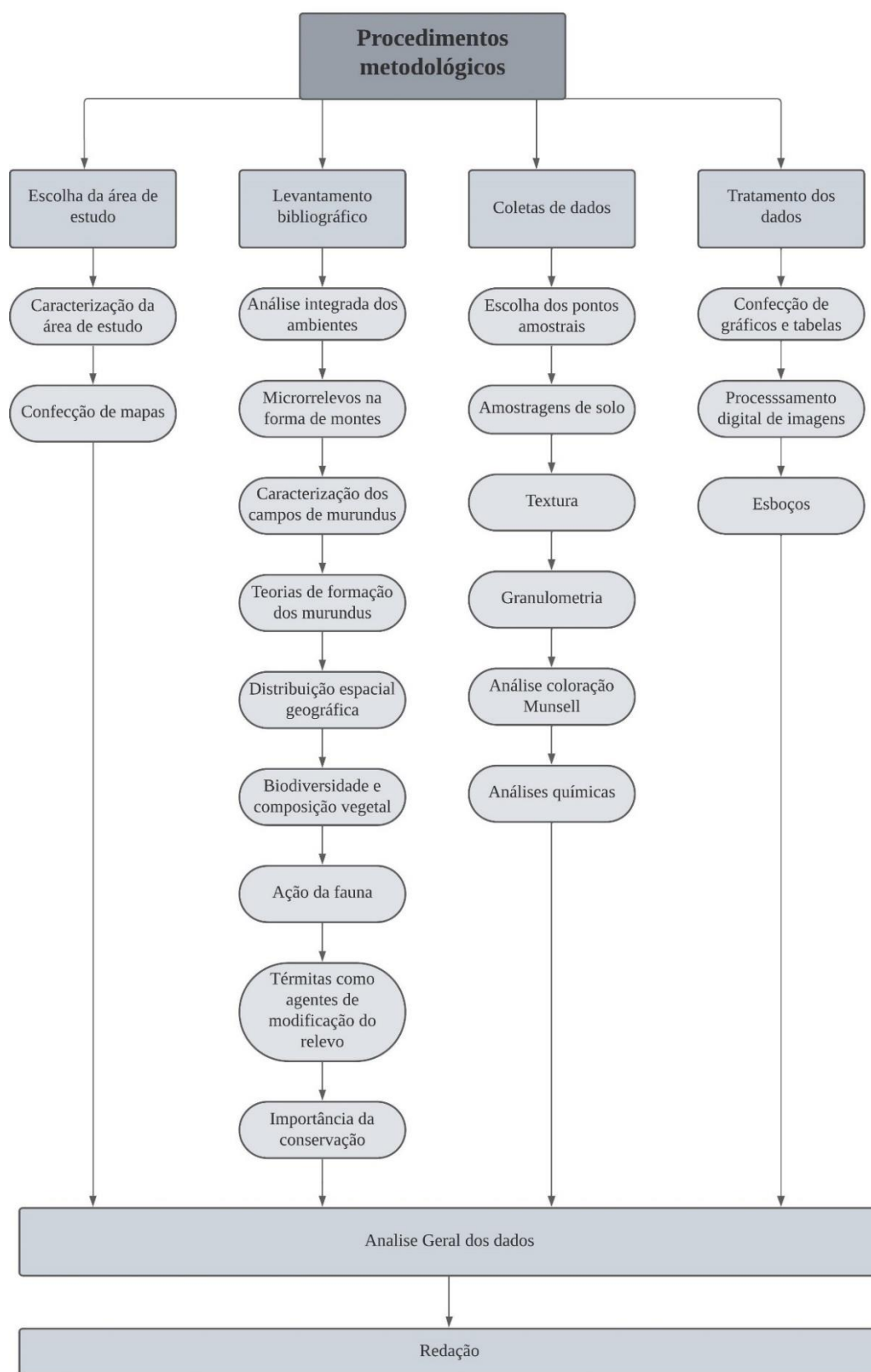
Com a definição das bases fundamentais ao estudo e caracterização da área, iniciou-se a fase de campo que contou com as coletas de amostras que estão descritas de forma mais detalhada no item 5.1. De forma geral, foram selecionados 6 pontos que buscaram uma maior espacialização local, determinando duas coletas por ponto uma no topo do murundu e outra no entre murundus – superfície.

A fase laboratorial contou com as análises das coletas de solo, consistindo em análises texturais, granulométricas, químicas e de coloração, bem como o posterior

tratamento e interpretação dos dados. Portanto, o trabalho segue uma proposta metodológica composta por teoria e prática, uma sendo suporte para a outra, buscando assim responder os questionamentos referidos, tais procedimentos podem ser visualizados no fluxograma abaixo (Figura 36).



Figura 36: Fluxograma das atividades realizadas no estudo.



Fonte: Autora

## **5.1 Coleta de Amostras de Solo para Análises Química, Granulométrica e Textural**

As coletas de amostras de solo foram realizadas com base no mapeamento de Nazar (2018) de Geocoberturas, especificamente nas unidades: “Materiais de bioturbação (campos de murundus) ferruginosos ou com concreções ferruginosas” e na unidade “Materiais de bioturbação (campos de murundus) indiferenciados”, onde a seleção levou em conta o possível acesso ao local e proximidade a estrada, buscando assim atender a maior abrangência dentro do Chapadão do Diamante (Figura 37).

Desta forma, foram selecionados 6 pontos amostrais com coletas realizadas no topo dos murundus e outra na parte inferior dos murundus (Entre murundus), a nível de comparação do material do entre murundus e do topo. Em cada ponto foram coletadas amostras a cada 10 centímetros de profundidade com o uso do trado holandês (Figura 38-A/B), variando a quantidade de amostras em cada, devido a presença de solos rasos que não permitiu a coleta equivalente em todos os pontos. Assim, o procedimento foi realizado até algum impedimento físico ou afloramento rochoso.

Todas as coletas seguiram a mesma lógica, sendo realizadas no centro do morrote de murundu para as coletas no topo e logo ao lado do monte no entre murundus, ou seja, no ponto de mudança de curvatura, com uma distância média de 1 metro.

Para enriquecer as discussões, as coletas foram acompanhadas de observações empíricas registradas em fichas contendo informações como altitude, posição na vertente, alturas (Figura 38-C), diâmetros, tipo de vegetação e condições morfológicas. Entre essas condições, foram anotadas a presença de erosão, concreções, água, fogo e detalhes sobre ninhos, incluindo quantidade, estado de conservação e possíveis degradações.

A escolha dos seis pontos amostrais na região da Canastra foi baseada em estudos prévios realizados no Chapadão do Diamante, o que permitiu aproveitar dados já existentes e facilitar o acesso à área. Além disso, buscou-se selecionar locais representativos de diferentes posições na vertente, incluindo fundo de vale, topo e média vertente, garantindo uma amostragem mais abrangente das características ambientais da região.

Figura 37: Localização dos pontos amostrais.

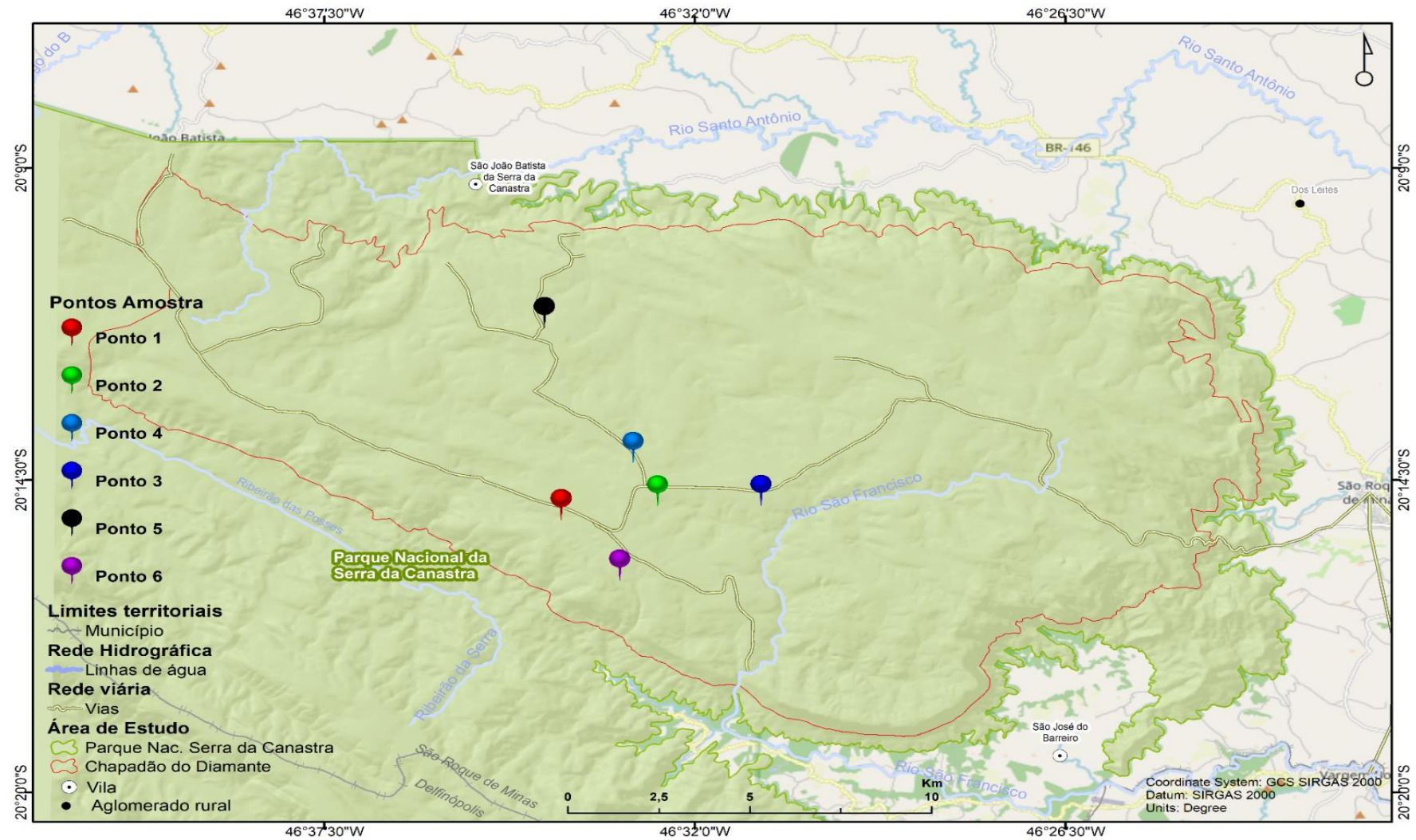


Figura 38: (A/B) Coleta com uso de trado holandês (C) Medição de alturas e diâmetros dos murundus



Fonte: Autora, 2023

Após a coleta, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos devidamente etiquetados com a numeração do ponto, indicação se foi no topo ou na parte inferior, bem como a profundidade, ficando nesta configuração (P1M 0-10 para as amostras coletadas no topo do murundu/ e P1E 0-10 no ‘entre’ murundus, parte inferior). Todas as etapas subsequentes foram realizadas em ambiente laboratorial (LAGES – textura e granulometria) e (SAFRAR Análises agrícolas LTDA – química). Os trabalhos de campo para coletas contemplaram três anos da pesquisa, novembro de 2022, setembro de 2023, fevereiro de 2024 e junho de 2024.

Os métodos físicos utilizados podem ser consultados de maneira mais abrangente no manual de análise e coleta de solos da Embrapa (2018; 2025) e Almeida et al, (2012), assim como nos procedimentos internos do Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos (Santos e Rodrigues, 2018).

## **5.2 Procedimentos Laboratoriais**

### **5.2.1 Análise de cor através da Carta de Munsell**

A carta de Munsell é uma ferramenta utilizada na geografia para fins de determinação da cor do solo, funcionando como um sistema de notação de núcleos desenvolvido por Albert H. Munsell no início do século XX, que permite uma descrição objetiva e padronizada dos núcleos dos solos.

Utilizou-se esta ferramenta pela ampla gama de possibilidades que oferece para analisar a coloração do solo, permitindo estabelecer conexões importantes entre o núcleo dessas propriedades, o que contribui para a compreensão dos processos geológicos e da dinâmica do solo em uma determinada região, além de auxiliar na confecção de mapas pedológicos e na interpretação textural e química do solo.

Para a realização do procedimento, é necessário umedecer o solo, colocá-lo em uma superfície plana e estável e, em seguida, posicionar a folha removível da carta Munsell sobre o solo, comparando-o com as classes de cor disponíveis (Figura 39). Ao final, os núcleos de cor observados devem ser anotados.



Figura 39: Procedimento para se obter a coloração do solo através da carta de Munsell. Observação: Nesta análise é importante umidificar o solo caso ele esteja seco para melhor visualização da cor.



Fonte: Autora, 2023

A notação de núcleos é o sistema tripartido utilizado na Carta de Munsell composto por três elementos principais Matiz (à cor básica, como vermelho, amarelo ou marrom). / Valor: (indicando o grau de clareza ou escuridão da cor./ Cromo: (representando a pureza ou intensidade da cor. Esses três elementos combinados fornecem uma descrição precisa da cor do solo. Por exemplo, um solo pode ser descrito como "5YR 4/3", onde "5YR" representa o matiz, "4" é o valor e "3" é o croma.

Desta forma, através da Carta de Munsell, é possível determinar a cor do solo de forma objetiva, evitando termos subjetivos como "marrom-escuro" ou "vermelho-claro", sendo fundamental para a categorização e classificação dos solos, o que é útil para entender sua formação, composição e propriedades. A cor do solo pode estar relacionada a várias propriedades, como conteúdo de matéria orgânica, textura, drenagem e até mesmo a presença de minerais específicos além de ser característica crucial na identificação e classificação dos tipos de solo.

### 5.2.2 Procedimentos para análise granulométrica por peneiramento

Após o procedimento de coleta as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos (LAGES), onde foi realizada a análise granulométrica, com a separação das frações de areia muito grossa, grossa, média, fina e muito fina, além da realização da textura com frações de argila e silte (Quadro 5) por meio do método de peneiramento e pipeta, conforme Embrapa (2018) e Almeida et al. (2012).

Quadro 5: Nomenclaturas das frações de tamanho de partículas com base em seus diâmetros.

<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Denominação</b>
>200	Matacão
200 –20	Calhau
20 –2,0	Cascalho
2,0– 0,53	Areia
0,053–0,002	Silte
<0,002	Argila

Fonte: EMBRAPA, 2017

#### Procedimento:

Para a realização do método, inicialmente é necessário deixar cada amostra em recipiente plástico ou porcelana com a devida identificação para a completa secagem ao ar livre durante uma semana aproximadamente. Em seguida, com as amostras já secas, foi realizado o processo de destorroamento por meio da utilização de almofariz e pistilo de porcelana (Figura 40), sendo importante ter atenção para não fragmentar os grãos maiores.



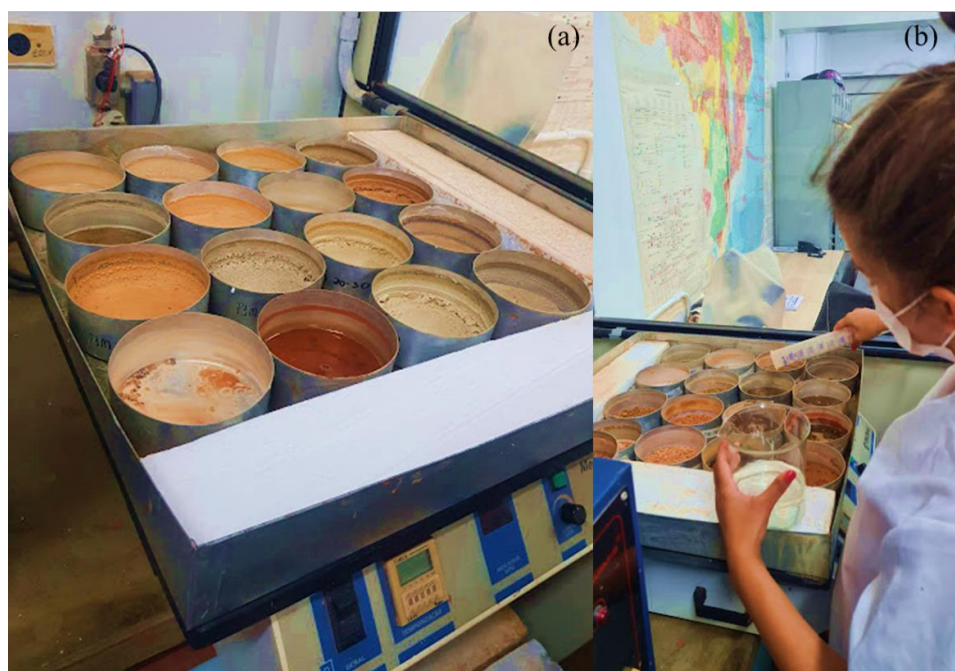
Figura 40: Almofariz e mão de gral para destorroamento do solo.



Fonte: Autora, 2023

Em seguida, as amostras foram submetidas à etapa de segregação das partículas do solo, utilizando uma solução dispersante de NaOH (concentração > 96-99%) (Figura 41-b). Após a adição da solução, os vasilhames foram acomodados em uma mesa agitadora, operando a 180 rpm por um período de 15 horas (Figura 41-a).

Figura 41: (a) mesa agitadora utilizada para dispersão das amostras (b) Solução de NaOH (soda cáustica + água destilada) sendo colocada nos vasilhames com a amostra.



Fonte: Autora, 2024

Após esse período, as amostras foram submetidas à lavagem em peneira, e o material retido foi posteriormente seco em estufa. O peneiramento subsequente foi realizado em mesa vibradora (Figura 42), utilizando peneiras de malha nas dimensões 4,75 – 3,35 - 2 – 1,7 - 0,85 – 0,6 – 0,425 – 0,3 – 0,212 – 0,150 – 0,075 - 0,053 (Tabela 1). A determinação da porcentagem do material retido foi realizada em relação à amostra total.

Figura 42: Agitador elétrico de peneiras.



Fonte: Autora, 2024

Tabela 1: Separações das frações granulométricas.

Diâmetro (mm)	Denominação do material retido
4,75	Cascalho
3,35	Cascalho
2,00	Cascalho
1,70	Areia grossa
0,850	Areia grossa
0,600	Areia grossa
0,425	Areia média
0,300	Areia média
0,212	Areia média
0,150	Areia fina
0,106	Areia fina
0,073	Areia fina

0,053	Areia fina
< 0,053	Silte/Argila

Fonte: Elaborada pela autora, 2024

Ao final do peneiramento no agitador elétrico, os materiais retidos em cada peneira foram separados e depositados em folhas A4 (Figura 43-a), devidamente identificadas para facilitar a pesagem. Em seguida, as amostras foram transferidas para cápsulas de porcelana e pesadas em balança de precisão (Figura 43-b), registrando-se o peso correspondente a cada peneira. Por fim, cada fração granulométrica foi acondicionada em sacos plásticos identificados (Figura 43-c) e os dados anotados em planilha.

Figura 43: (a) Separação das amostras por cada peneira, antes de pesar é necessário tirar todos os materiais que ficaram presos na peneira e transpor para as cápsulas de porcelana para posterior pesagem (b).



Fonte: Autora, 2024

### 5.2.3 Textura

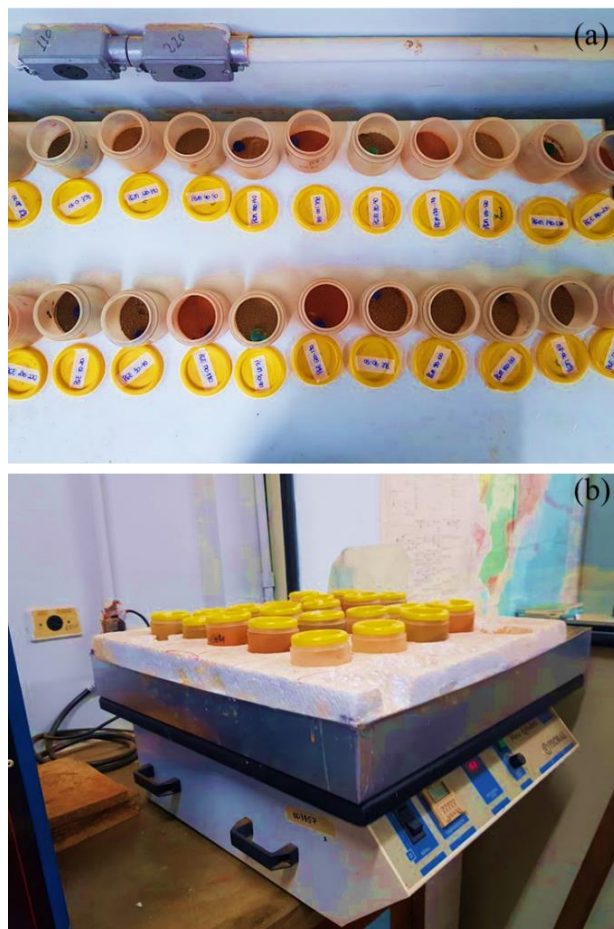
A análise textural do solo é importante para se conhecer a proporção relativa de partículas de areia, silte e argila do solo, tais condições influenciam diretamente em suas propriedades físicas, como capacidade de retenção de água, permeabilidade, aeração e capacidade de suporte, sendo essencial tal conhecimento à pesquisa. A análise textural do estudo foi conduzida de acordo com os procedimentos delineados no Manual de Métodos de Análise de Solo (Embrapa, 2018) e realizadas no Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos solos.

#### Procedimento:

Inicialmente, foram pesadas e separadas 20 g de solo de cada amostra, as quais foram acondicionadas em frascos plásticos devidamente identificados com a numeração correspondente (Figura 44-a). Após essa etapa, adicionaram-se 15 mL de dispersante químico (NaOH) a cada frasco contendo o solo. As amostras foram então submetidas à agitação em mesa agitadora a 110 rpm por um período de 15 horas (Figura 44-b).



Figura 44: (a) Disposição das amostras nos vasilhames previamente identificados (b) mesa agitadora com as 20g de amostras em cada pote.



Fonte: Autora, 2023

Após a agitação, as amostras foram lavadas com água destilada através da peneira de malha 0,053mm, onde o material retido, (areia- Figura 45 a/b) foi armazenado nas cápsulas de porcelana para em sequência seguir para a secagem na estufa (Figura 45-c). Todo o processo de lavagem é realizado com a utilização de água destilada previamente feita no destilador e armazenada em recipientes próprios.

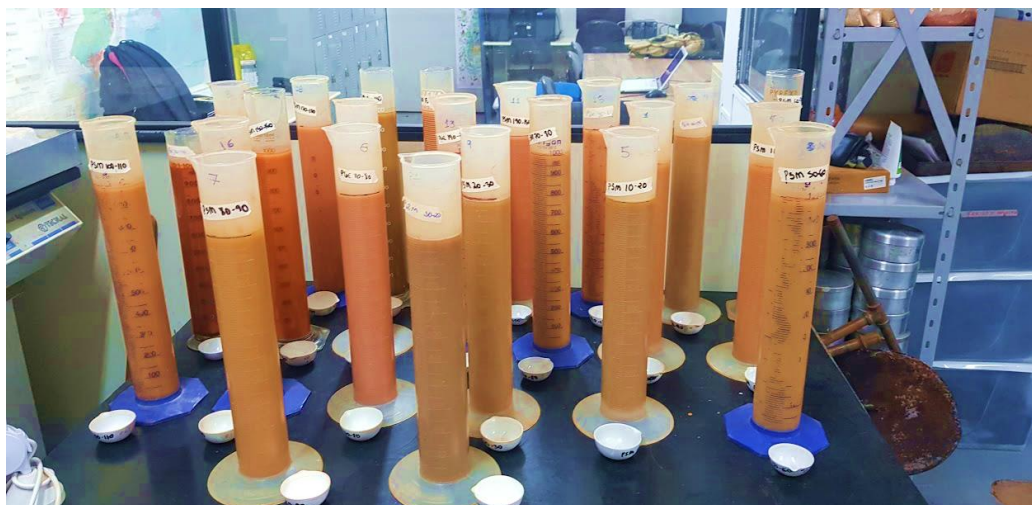
Figura 45: (a) Procedimento de lavagem da amostra separando a areia que fica retida na peneira da argila e silte (b) Destinação do material (areia) retido para as cápsulas de porcelana, para em seguida ir para a estufa (c).



Fonte: Autora, 2023

O material passante, composto pelas frações de argila e silte, foi acondicionado em provetas de 1 litro para sua determinação (Figura 46). Caso o volume obtido após a lavagem da areia não atingisse a marca de 1 litro, adicionou-se água destilada até completar o volume. Ao final, a solução foi homogeneizada com um agitador manual por 1 minuto, garantindo a adequada suspensão das partículas.

Figura 46: Organização das provetas em processo de decantação por 4h.



Fonte: Autora, 2023

Posteriormente, as provetas ficam em sedimentação por 4 horas sem agitação para obter o teor de argila, após as 4 horas submerge-se a pipeta (há uma profundidade de 10cm) retirando 25 ml da amostra onde são destinadas a estufa para completa secagem a 110° graus por aproximadamente 12 horas.

Ao final das 12 horas com as amostras já secas, retira-se as cápsulas e realiza a pesagem de cada uma (Figura 47) – o peso determinará a quantidade de areia e argila. O teor de silte por sua vez é calculado através da diferença das outras frações complementando os 100% em relação a amostra original.

Figura 47: Disposição das cápsulas de porcelana após secagem na estufa (a) cápsulas com areia (b) cápsulas com argila.

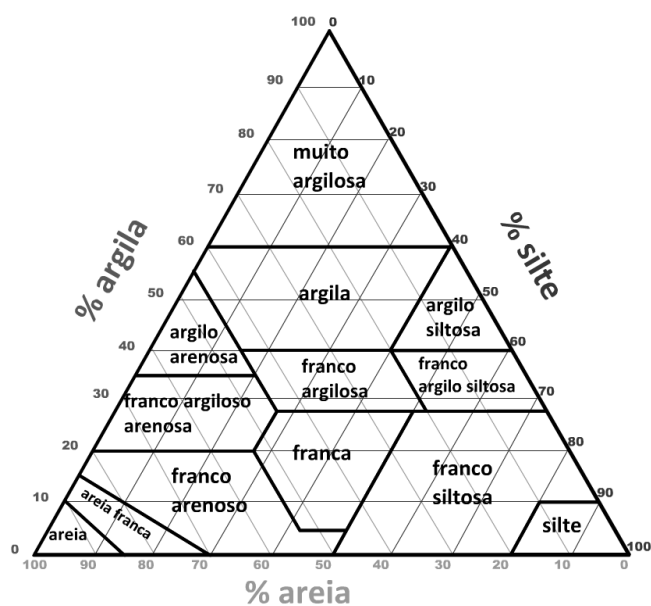


Fonte: Autora, 2023

Para finalização de todo processo, os resultados foram interpretados utilizando o triângulo textural (Figura 48), através do aplicativo Triplot. Esse aplicativo permite visualizar a distribuição das classes granulométricas, separando a classificação em treze categorias com base na variação entre fração arenosa, siltosa e argilosa, conforme descrito por Embrapa (2018).



Figura 48: Triângulo textural utilizado para determinação da textura do solo.

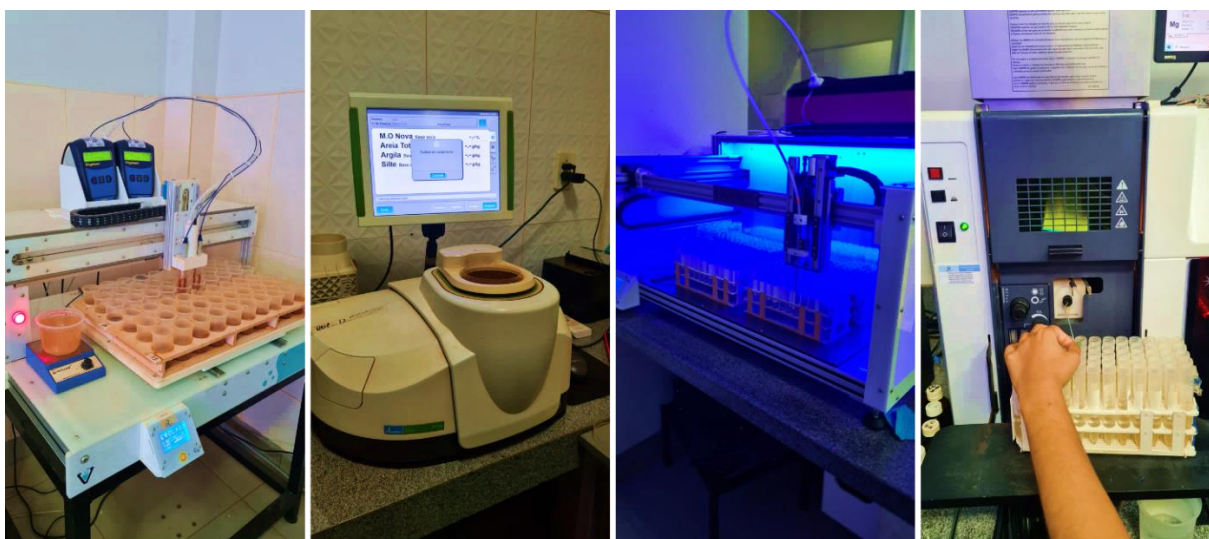


Fonte: EMBRAPA, 2018.

#### 5.2.4 Química

As análises químicas foram realizadas no laboratório Ubersolo Tecnologia Agrícola Ltda (Figura 49) localizado no Triângulo Mineiro na cidade de Uberlândia. O Ubersolo Análises Agrícolas é acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro para ensaios ABNT NBR ISO/IEC 17025 sob número CRL 1437.

Figura 49: Equipamentos para realização das análises químicas.



Fonte: Autora



Para a realização das amostragens químicas foi necessário o agrupamento de algumas profundidades de amostras coletadas, devido a quantidade restante não atingir o mínimo exigido para a análise química (300g), desta forma para que haja um parâmetro científico, as amostras foram agrupadas com base na granulometria, textura e coloração, permitindo uma melhor homogeneização se configurando em 50 amostras (Figura 50).

Figura 50: Amostras de solo preparadas para análise química.



Fonte: Autora

Os atributos químicos analisados foram: potencial de hidrogênio em água (pH H<sub>2</sub>O) e em solução de cloreto de potássio (pH KCl); fósforo remanescente (P-rem); fósforo total (P Total), potássio (K), Calcio (Ca), Magnésio (Mg), Ferro (Fe), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases trocáveis (SB); capacidade de troca catiônica efetiva (t); capacidade de troca catiônica (T); índice de saturação por bases (V); índice de saturação por alumínio (m), matéria orgânica (MO) e carbono orgânico. Nos extratores: H+Al - SMP a pH 7,5; Ca,Mg,Al - KCL 1mol L<sup>-1</sup> se P/resina, Ca, Mg, K em Resina; P\_Meh-1, K\_Meh -1I P\_res-Resina; I P\_rem-Remanescente; M.O/C.O - NIR - Espectroscopia; Cu, Fe, Mn e Zn - DTPA/Meh-1; ICP-OES S – Acetato de Amônio + Ácido Acético; ICP-OES e B – Extrator Mehlich-1; ICP-OES.

---

## *RESULTADOS*

---



*"Sempre houve o suficiente no mundo para todas as necessidades humanas. Nunca haverá o suficiente para a cobiça humana." (Mahatma Gandhi)*

## 6 RESULTADOS

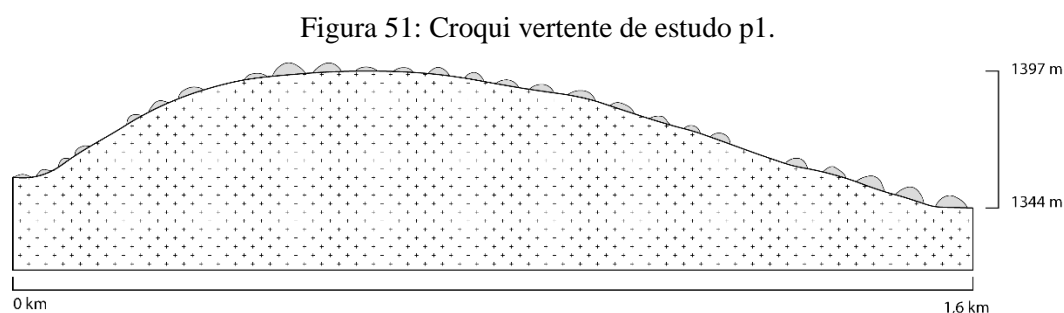
Com o intuito de proporcionar uma compreensão mais detalhada e abrangente das características dos Campos de Murundus localizados no Chapadão do Diamante, foi realizada a seleção de pontos amostrais distribuídos ao longo de sua extensão geográfica. Esse processo visou capturar a diversidade e as particularidades dos elementos que compõem esse ecossistema, possibilitando uma análise mais precisa de suas variações.

Para tal, foram escolhidas seis áreas estratégicas, com base em critérios que permitissem um melhor entendimento dos diferentes aspectos paisagísticos da região. A seguir, serão apresentados os detalhes dessas áreas, que contribuem para uma análise aprofundada do ambiente e de suas dinâmicas.

### 6.1 PONTO AMOSTRAL 1

#### 6.1.1 Distribuição na Paisagem e Características Vegetativas

A vertente de estudo do ponto 1 possui aproximadamente 1.114 metros, inserindo-se entre as cotas altimétricas de 1397 a 1344 metros de altitude. Apresenta topo plano, com baixa declividade (1,4%), sendo a inclinação máxima visualizada ao longo de seu terço médio (7,7%), apresentando declividade média total de 5,2% (Figura 51).



Fonte: Autora, 2024

Os campos de murundus ocupam grande parte de sua extensão, estendendo-se desde sua parte mais elevada até o fundo de vale. No entanto, a área amostral se restringiu ao terço superior. Observou-se, que as microfeições de relevo possuem formatos predominantemente ovalados, com alturas médias de 0,66 metros e largura e comprimento médios de 7,36 x 4,7 metros, sendo registrados uma densidade de 213



murundus por hectare, o que reflete uma alta concentração dessas formações no local (Figura 52).

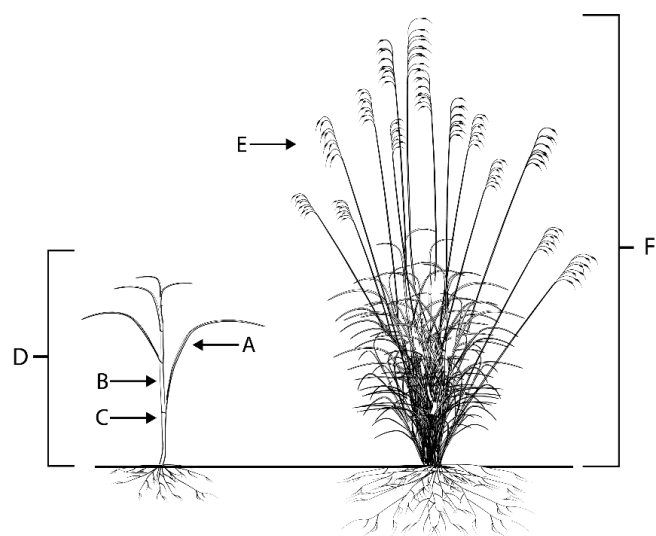
Figura 52: Paisagem dos campos de murundus ponto 1.



Fonte: Autora, 2023

A vegetação é homogênea, composta por plantas de porte médio à baixo, caracterizada principalmente por gramíneas do gênero *Echinolaena spp.*, conhecidas como capim-flechinha (Figura 53). Essas gramíneas se destacam por sua adaptabilidade às condições ambientais locais, como variações no relevo e no regime hídrico (Silveira, et al. 2016). Apenas sobre os morrotes de murundus foram observadas algumas espécies herbáceas e arbustivas, com alturas inferiores a 100 centímetros.

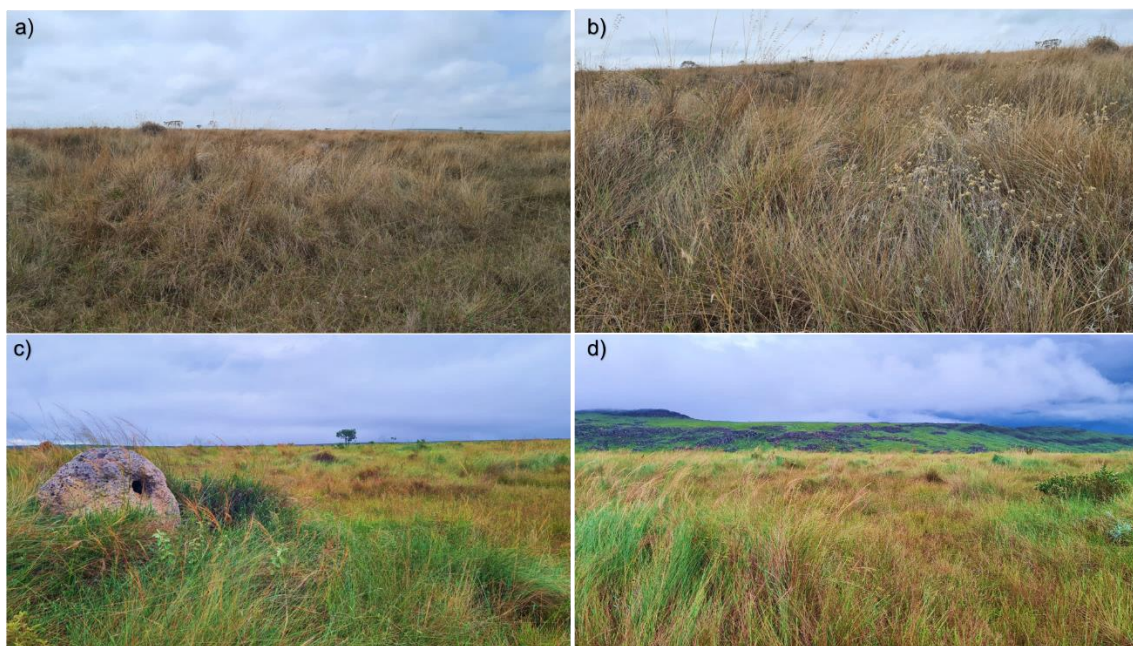
Figura 53: Morfologia estrutural capim flechinha.



Fonte: Confessor, 2023

Foi constatado no local como a sazonalidade das precipitações afeta as características da vegetação local. Durante a estação chuvosa, observou-se maior vigor vegetativo, com as plantas exibindo folhas verdes e saudáveis. Em contraste, nos períodos secos, as plantas exibiram redução do vigor, com predominância de folhas e estruturas de sustentação secas (Figura 54).

Figura 54: Área de campo de murundus. (a/b) Condição vegetativa local no entre chuvas (a) vegetação avançando a térmita (setembro de 2023) (c/d) Característica paisagística local em período chuvoso (fevereiro de 2024).



Fonte: Autora

### 6.1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO P1

O morrote de murundu apresentou de seu topo até sua base 66 cm, uma composição predominante por material fino, com partículas menores que 2 mm, sendo estas caracterizadas pelo predomínio de frações arenosas, especialmente de areias de calibre médio.

Este pacote de materiais está disposto sobre uma camada de cascalho em sua base, que apresentou uma profundidade média de 40 centímetros (Gráfico 2), constituída majoritariamente por pequenos cascalhos lateríticos com diâmetros que variam entre 2 e 3,5 mm, havendo o aumento da fração de silte e argila nas camadas abaixo.

Na camada mais superficial do morrote de murundu (0-50 cm), o solo é caracterizado por uma composição predominantemente arenosa (Gráfico 1), sendo classificada de acordo com os critérios texturais estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos et al., 2018) como franco argiloso arenosa.

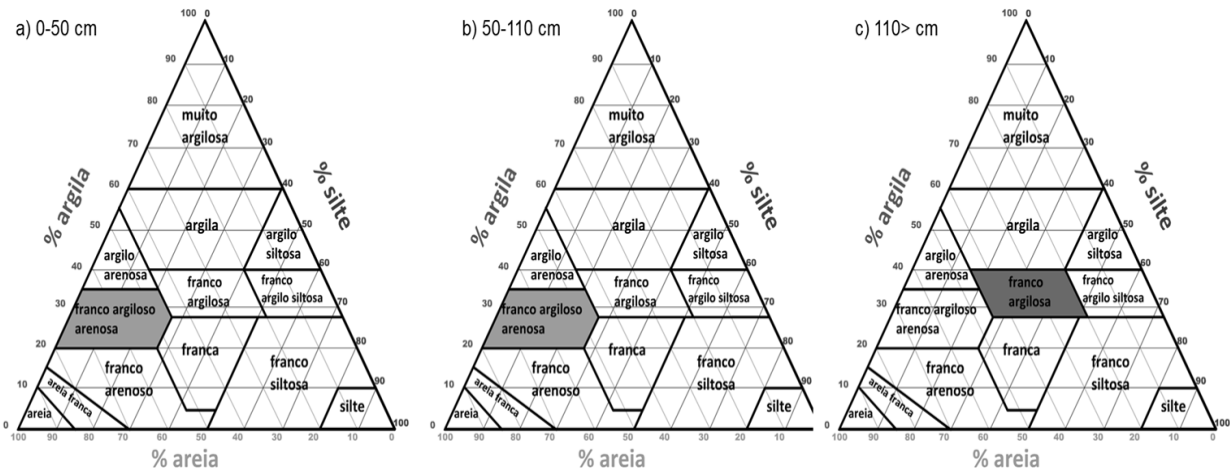
Nas profundidades intermediárias 50-110 cm, a proporção de frações de areia ainda se mantém relevante, mas observa-se um aumento gradual no teor de argila e silte. Na camada entre 50-70 cm, a argila está estimada entre 15% e 35%, caracterizando a textura como franco-arenosa. Já entre 70-110 cm, a textura evolui para franca, com uma proporção mais equilibrada entre areia, silte e argila (Figura 55). Essas mudanças texturais sugerem uma transição gradual, com influência possivelmente associada a processos hidrológicos e/ou biológicos (Resende et al., 2014).

Gráfico 1: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 1M – Amostra coletada sobre murundu.



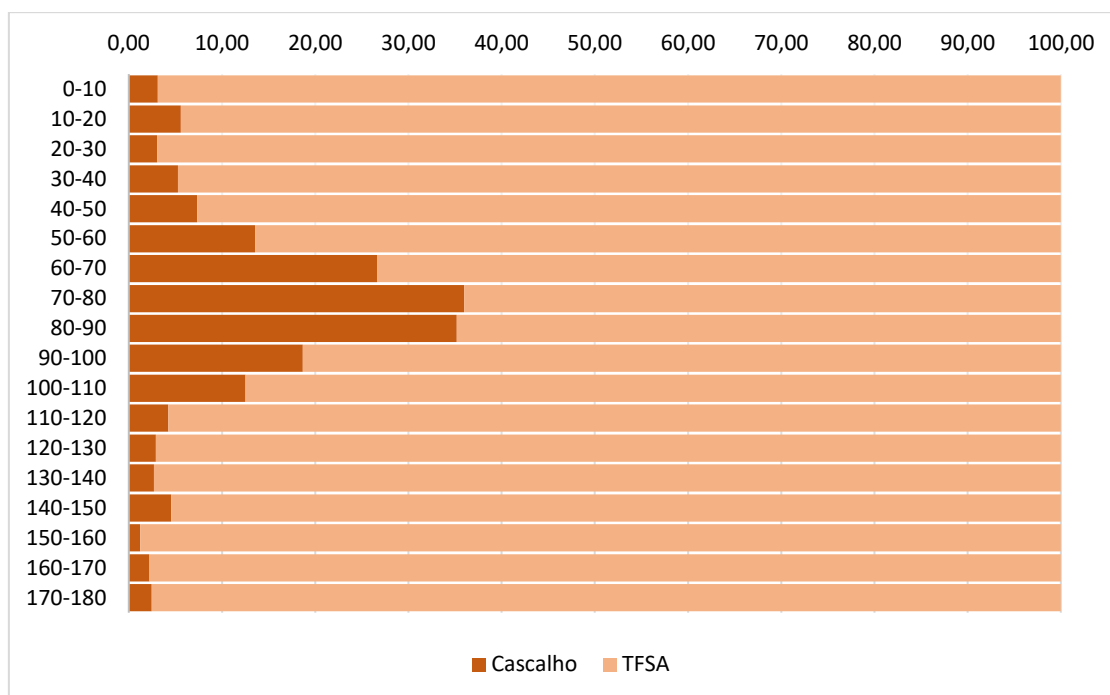
Fonte: Autora

Figura 55: Triângulo textural P1M em diferentes profundidades.



Fonte: Autora

Gráfico 2: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 1 sobre murundu (P1M).



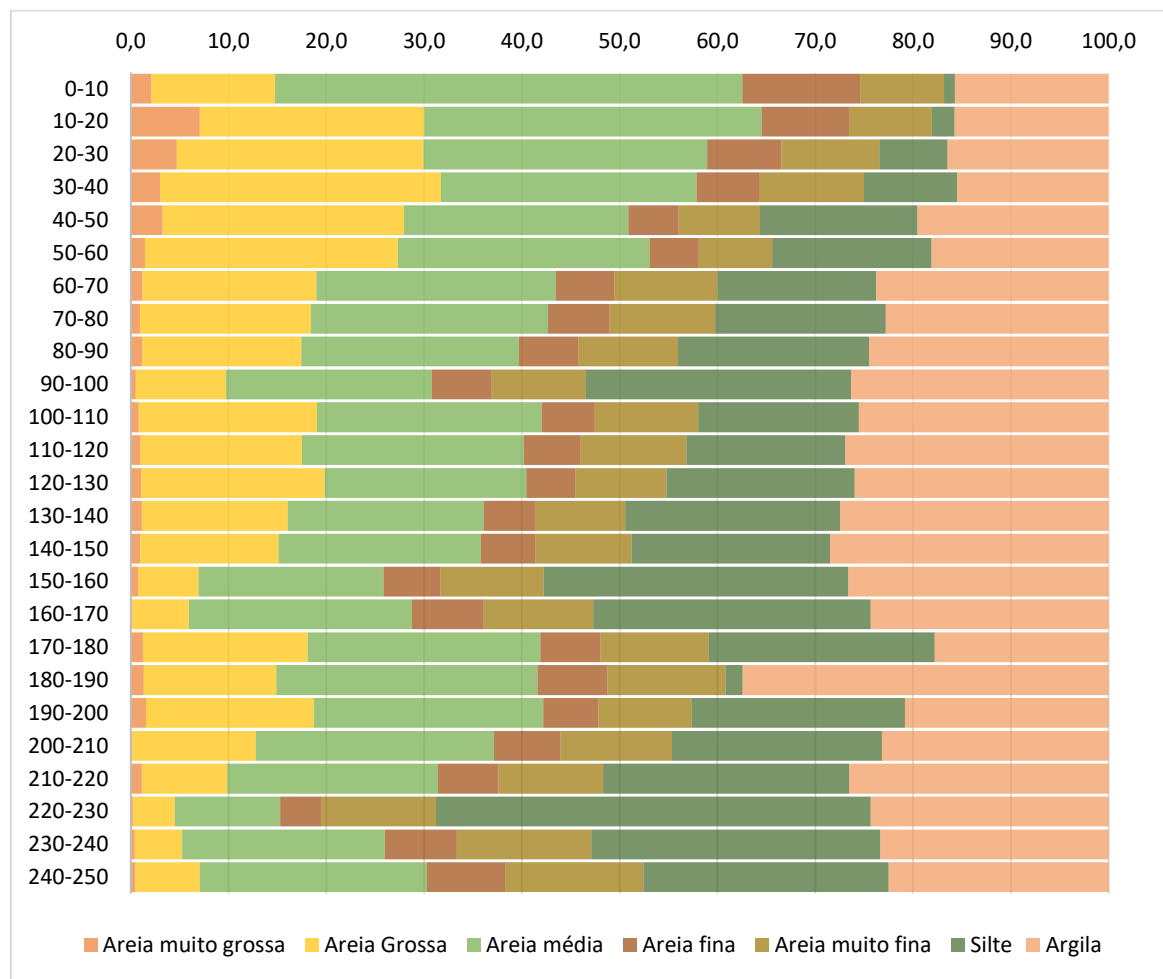
Fonte: Autora

O solo entre os morrotes de murundus apresentou próximo a superfície (0-10 cm) uma delgada camada de material fino, composto em maioria por areias, principalmente da fração média (Gráfico 3). Abaixo desta camada, entre as profundidades de 10 a 40 centímetros exibiu horizonte cascalhento constituído por material concrecionário laterítico com tamanhos médios que variaram de 2 a 3,35 mm (Gráfico 4), os quais são envoltos em uma matriz de solo arenosa.

Na profundidade entre 50-140 cm, observa-se um aumento no conteúdo de argila (Gráfico 3), enquanto a proporção de areia se mantém expressiva, esse comportamento sugere transição textural para franco-argiloso-arenosa (Figura 56). Nas camadas mais profundas do perfil (140>), nota-se um incremento da presença do silte e diminuição do teor de areia, entretanto, mantendo a classificação textural.

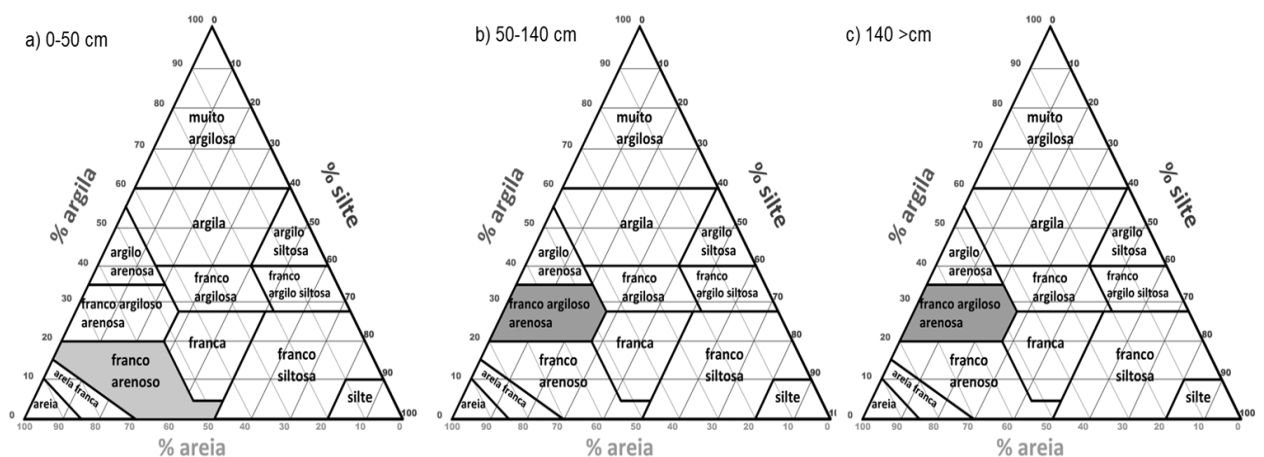


Gráfico 3: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 1E – Amostra coletada entre murundus.



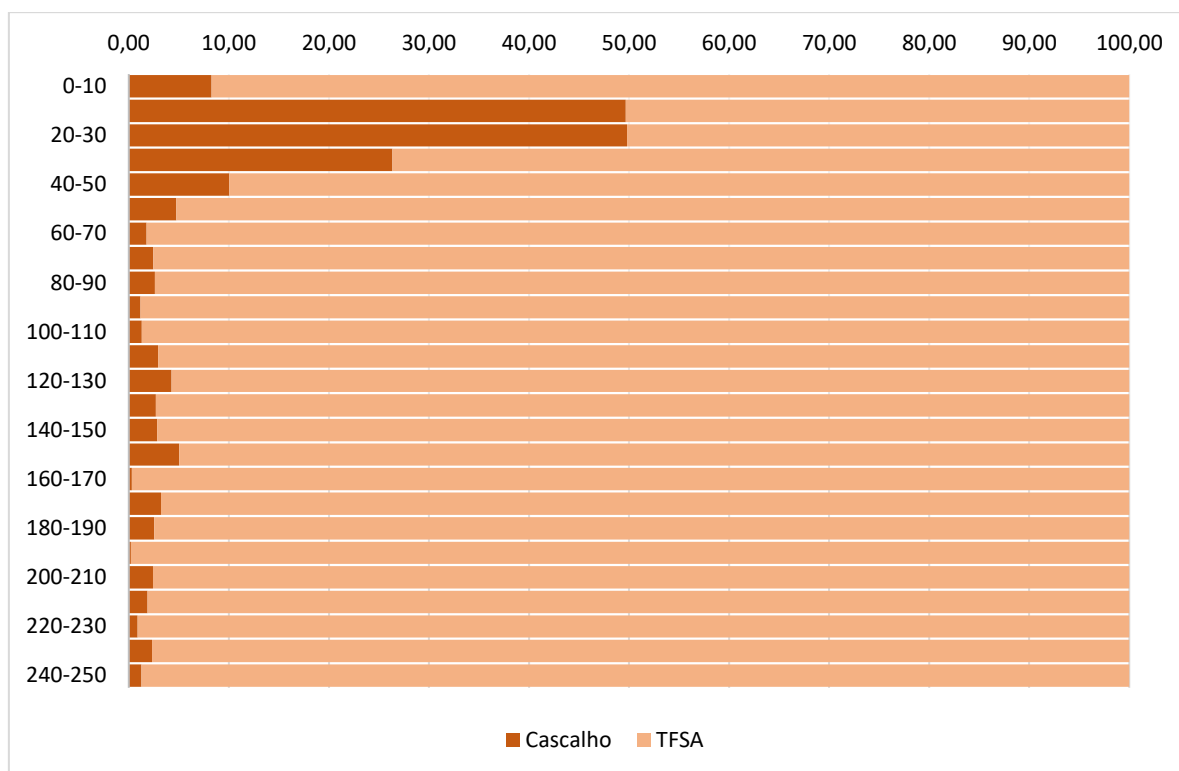
Fonte: Autora

Figura 56: Triângulo textural P1E em diferentes profundidades.



Fonte: Autora

Gráfico 4: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 1 entre murundus (PIE).



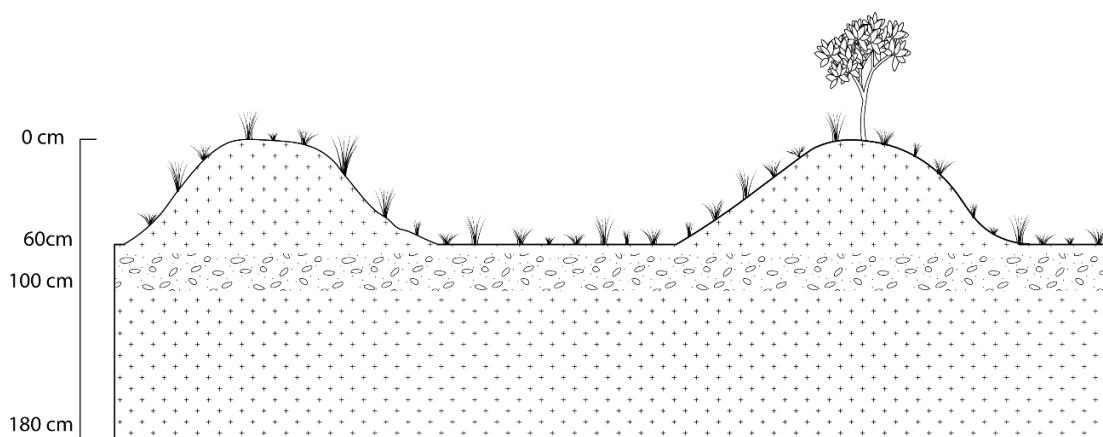
Fonte: Autora.

### 6.1.3 Comparação física do solo do murundu e entre murundu

Ao comparar o solo da área do entre murundus e do murundu, é perceptível que ambos apresentam predomínio de material fino (<2mm). Entretanto, a área do murundu exibiu maior proporção na quantidade destes materiais quando comparado ao ambiente de entre murundus, com destaque para a argila.

Também se nota que ambos os locais apresentam uma camada de cascalho, composta por material concrecionário de cimentação férrica que coincide no mesmo nível (Figura 57), indicando que a área passou por processos de gênese semelhante. Esta camada indica de forma geral, que o ambiente passou por ciclos químicos de oxirredução, que são típicos de regiões sujeitas à variação do nível freático.

Figura 57: Camada de cascalho presente no local com extensão de 40cm.



\* camada de cascalho não se apresenta de forma contínua como representada na ilustração

Fonte: Elaboração própria.

Esses ciclos ocorrem devido à alternância entre períodos de saturação e secagem do solo, provocando mudanças nas condições redox (redução e oxidação) que influenciam a mobilidade de certos elementos, especialmente o ferro (Fe) (Miguel et al, 2013). A flutuação do nível freático resulta na mobilização do ferro dissolvido em solução aquosa, que, ao entrar em contato com áreas do solo que passam por oxidação, precipita-se e se deposita sobre partículas inorgânicas de diferentes calibres. Essas partículas podem incluir areia, silte e argila, que são aglutinadas pela deposição de óxidos de ferro, formando as concreções ferruginosas, como constatadas no local.

Através dos sucessivos ciclos de acreção, essas concreções tendem a se fundir entre si, formando camadas endurecidas no solo (Stolt et al., 1993), sendo estas observadas de forma pontual no campo de murundu em análise, especialmente onde foi exumada (Figura 58).

Figura 58: Cangas com cascalhos aparentes.



Fonte: Autora

Neste sentido, no ponto 1 a dinâmica de oxirredução é particularmente alta, pois a área apresentou solos com horizontes com cimentação férrica, os quais podem atuar como uma barreira física no solo, limitando a infiltração de água e alterando o fluxo subterrâneo, o que pode resultar em áreas com maior acúmulo de umidade superficial, contribuindo para o alagamento sazonal da área em períodos de maior pluviosidade.

#### 6.1.4 Matizes do solo

A coloração do solo variou conforme a profundidade, o que pode estar relacionado à composição mineral, teores de matéria orgânica e processos de pedogênese. Nos primeiros 10 centímetros, observou-se para ambos uma tonalidade marrom-escura mais intensa, devido à maior concentração de matéria orgânica resultante da decomposição de restos vegetais. Já nas camadas mais profundas, onde a matéria orgânica tende a ser menos abundante, a coloração apresentou variações entre tons de marrom e vermelho, o que pode indicar a presença de óxidos de ferro, típicos de solos mais intemperizados (Quadro 6).

Quadro 6: Caracterização de cor do solo (Notação Munsell)

<b>Perfil</b>	<b>Profundidade (cm)</b>	<b>Notação Munsell</b>	<b>Descrição</b>
<b>P1M</b>	0 - 10	10YR 3/2	Marrom escuro neutro
	10 - 20	10YR 4/4	Marrom médio
	50 - 60	10YR 4/4	Marrom médio
	60 - 70	7.5YR 4/6	Marrom-avermelhado
	90 - 100	7.5YR 5/6	Marrom claro avermelhado
	100 - 110	7.5YR 6/8	Bege avermelhado
	170 - 180	5YR 7/8	Vermelho claro suave
<b>P1E</b>	0 - 10	10YR 3/2	Marrom escuro neutro
	10 - 20	7.5YR 3/4	Marrom escuro avermelhado
	30 - 40	5YR 4/6	Vermelho moderado
	80 - 90	5YR 6/8	Vermelho claro vibrante
	90 - 100	5YR 6/8	Vermelho claro vibrante
	150 - 160	5YR 7/8	Vermelho claro suave
	210 - 220	5YR 7/6	Vermelho claro moderado
	240 - 250	5YR 7/4	Bege avermelhado

Fonte: Autora.

Essa variação também pode remeter-se a presença e as formas de circulação da água no sistema do murundu. Por apresentarem cotas acima da superfície, os morrotes de murundus não são submetidos em mesma intensidade aos ciclos de umidade do solo, influenciando na intensidade das reações redox, em que, a oscilação dos níveis de saturação em subsuperfície podem contribuir para translocação, concentração e posterior oxidação do Fe, resultando na divisão de matizes, com morrotes apresentando colorações voltadas ao marrom e áreas sob e entre morrotes colorações mais avermelhadas.

### 6.1.5 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS P1

#### Ponto 1 Murundu (P1M)

As análises químicas relevaram que, os morrotes de murundus apresentaram características marcantes de acidez elevada, baixa fertilidade natural e intensa intemperização, refletindo processos pedogenéticos típicos de ambientes tropicais de clima sazonal (Tabela 2).

Tabela 2: Características químicas das amostras P1 em cima (topo) P1m e entre murundus (entre) P1.

Composição Química																	
Profundidade	pH	K	Ca	Mg	SB	Al	H+Al	T	t	V	M	Fe	P rem	P	C.O	C.O	MO
	H2O	cmolc dm <sup>-3</sup>							%			mg dm <sup>-3</sup>		total	%	dag kg <sup>-1</sup>	
P1M 0-20	4,64	0,05	0,11	0,04	0,2	1,06	7,2	7,4	1,26	2	83,9	61,2	12	953	0,67	1,2	2
P1M 20-60	4,64	0,03	0,06	0,02	0,11	0,77	6,2	6,3	0,88	1	86,7	25,7	11,4	907	1,58	1,2	2,14
P1M 60-100	4,9	0,04	0,07	0,02	0,13	0,45	7,5	7,6	0,58	1	77,5	11,3	11,2	947	1,79	0,7	1,29
P1M 100-180	5,01	0,01	0,07	0,01	0,09	0,34	7	7,1	0,43	1	78,6	2,55	17,5	913	1,11	0,9	1,6
P1E 0-30	4,64	0,04	0,1	0,03	0,17	0,8	6	6,2	0,97	2	81,7	58,9	24,1	959	0,5	1,3	2,16
P1E 30-60	4,75	0,02	0,09	0,02	0,13	0,64	8,1	8,2	0,77	1	82,5	4,17	25,7	896	0,37	0,7	1,23
P1E 60-100	4,86	0,03	0,08	0,01	0,12	0,74	8,6	8,7	0,86	1	86	1,82	31,6	829	0,45	0,9	1,51
P1E 100-250	4,75	0,03	0,07	0,01	0,11	0,81	5,5	5,6	0,92	2	87,7	2,38	31,5	801	0,48	1,2	2,07

Legenda: P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; H+Al = acidez potencial; SB = soma de bases; t = CTC efetiva; T = CTC em pH 7,0; V = saturação de bases; m = saturação de alumínio; Fe = ferro; MO = matéria orgânica; P-rem = fósforo trocável; C.O = carbono orgânico.

Observação: Os valores de fósforo total apresentados podem estar superestimados devido a possíveis inconsistências analíticas no processo laboratorial.

Fonte: Autora

O pH (H2O) varia entre 4,64 e 5,01, denotando alta acidez ao longo do perfil, conforme descrito por Camargo et al. (1999), que correlacionam tal condição a ambientes com maior lixiviação de bases. A saturação por bases (v%) se apresenta extremamente baixa (1 a 2%), característica de solos distróficos reforçando também a baixa capacidade de retenção de nutrientes essenciais, como descrito por Buol et al. (2011).

A CTC a pH 7,0 variando entre 6,32 e 7,64 cmolc/dm<sup>3</sup>, reflete moderada retenção de cátions, enquanto a CTC efetiva, muito baixa (<1,26 cmolc/dm<sup>3</sup>), corrobora a classificação distrófica. Com valores entre 77% e 86% a saturação de alumínio (m%) indica a predominância de alumínio trocável, típico de solos altamente ácidos (Resende et al., 2007).

O fósforo total apresentou valores entre 907,49 mg/dm<sup>3</sup> e 953,18 mg/dm<sup>3</sup>, que apesar de alto não necessariamente reflete a disponibilidade adequada para as plantas, pois grande parte do fósforo pode estar imobilizada em formas indisponíveis devido à forte fixação em óxidos de ferro e alumínio, sendo a interpretação do fósforo remanescente (P rem) essencial.

O (P rem) variou de 2,55 mg/dm<sup>3</sup> a 61,23 mg/dm<sup>3</sup>, evidenciando uma baixa disponibilidade desse nutriente, especialmente nas camadas mais profundas. O P rem é um indicador da capacidade do solo em fornecer fósforo ao longo do tempo, sendo valores abaixo de 10 mg/dm<sup>3</sup> considerados críticos para o crescimento vegetal. A menor

disponibilidade observada nas camadas inferiores (60-180 cm) pode estar relacionada à intensa adsorção pelos colóides do solo e à baixa atividade biológica nessas profundidades, dificultando a reposição desse nutriente.

Com percentuais entre 1,29% e 2,14%, a Matéria Orgânica (MO) tem maior concentração nas camadas superficiais, condizentes com estudos (Melo et al., 2001) de horizontes A em solos tropicais intemperizados, no entanto, sendo baixa em todos os horizontes. Os Teores de Ferro (Fe) por outro lado, são altos (11,27 a 61,23 mg/dm<sup>3</sup>), indicando elevada concentração de óxidos de ferro, como hematita e goethita, componentes comuns em solos altamente intemperizados (Schaefer et al., 2008).

Ao integralizar as análises físicas com os dados químicos é possível sugerir uma Interpretação Pedogenética com base na Classificação no SiBCS. As características químicas e físicas indicaram que o solo pertence à classe dos Latossolos Vermelhos-Amarelos Distróficos, sendo essa classificação sustentada por: baixa CTC e baixa saturação por bases ( $V < 2\%$ ), alta saturação por alumínio ( $>77\%$ ) sendo características de solos distróficos, além de sua coloração transicionada entre 7.5YR (avermelhado-amarelo) para 5YR (vermelho intenso) indicando a coexistência de hematita e goethita, como descrito por Kämpf e Curi (2012).

### **Ponto 1 Entre Murundus (P1E)**

Assim como os resultados obtidos para as coletas sobre os murundus o entre murundus também apresentou propriedades químicas indicando um solo ácido, distrófico e com baixa fertilidade natural.

Os valores de pH variam de 4,64 a 4,86 ao longo do perfil, indicando alta acidez, esse comportamento é típico de solos lixiviados em ambientes tropicais, onde as bases trocáveis são continuamente removidas do sistema pelo escoamento superficial e subsuperficial (Resende et al., 2007). A acidez elevada também contribui para a solubilização de alumínio tóxico, restringindo o crescimento de plantas sensíveis.

A saturação por bases apresenta valores extremamente baixos (1 a 2%), considerando a baixa disponibilidade de nutrientes básicos, como cálcio e magnésio. Por outro lado, a saturação por alumínio é alta (81,74% a 87,73%), o que reforça o caráter distrófico e tóxico do solo (Oliveira e Pavan, 1996).

A CTC efetiva varia de 0,77 a 0,97 cmolc/dm<sup>3</sup>, indicando uma limitada capacidade do solo em reter cátions trocáveis, enquanto a CTC a pH 7,0 apresenta valores entre 5,64 e 8,72 cmolc/dm<sup>3</sup>. Este comportamento é característico de solos intemperizados, onde os

argilominerais dominantes são de baixa atividade, como caulinita, além de elevados teores de óxidos de ferro e alumínio (Kämpf e Curi, 2012).

Os altos teores de ferro (58,88 mg/dm<sup>3</sup> na camada superficial) são indicativos da presença de óxidos de ferro, como hematita e goethita, que são comuns em solos tropicais intemperizados. A diminuição desses valores em profundidade sugere mobilidade limitada, coerente com a formação de um perfil pedogenético estável como também visto nos estudos de Schaefer et al., 2008.

Os teores de fósforo remanescente são baixos, variando entre 24,09 e 31,55 mg/dm<sup>3</sup>, o que retrata a alta fixação de fósforo pelos óxidos de ferro e alumínio, característica comum em solos ácidos (Novais et al., 2007). Já os teores de matéria orgânica variaram de 1,23% a 2,16%, concentrando-se nas camadas superficiais. Esse padrão é típico de solos bem drenados e intemperizados, onde a rápida decomposição da matéria orgânica é favorecida pelo clima quente e úmido (Stevenson, 1994).

Ao associar as propriedades químicas com a interpretação de cores de Munsell do ponto é possível criar correlações que sustentam a discussão. As cores mais escuras (0-20 cm) indicam maior teor de matéria orgânica, coerente com os valores de MO (2,16% na camada superficial). A presença de matéria orgânica contribui para a formação de um horizonte A superficial, típico de solos bem drenados. O leve tom avermelhado no horizonte de 10–20 cm indica a influência de óxidos de ferro e o início da transição para horizontes subsuperficiais mais intemperizados.

As tonalidades vermelhas e vibrantes na profundidade de 30-100 cm são típicas de solos altamente intemperizados, onde os óxidos de ferro, principalmente hematita, predominam (Schaefer et al., 2008). A ausência de matéria orgânica em camadas mais profundas contribui para o aumento da saturação de alumínio (>85%), coerente com os dados químicos que indicam alta acidez.

Nas profundidades de 150 a 250 cm, as cores tornam-se mais claras, sugerindo alta concentração de minerais residuais resistentes, como caulinita e óxidos de ferro cristalizados (hematita e goethita), o tom bege avermelhado na camada mais profunda pode se relacionar ao nível de drenagem e a perda progressiva de materiais mais reativos (Resende et al., 2007).

Com base nas propriedades químicas, este solo também pode ser classificado como um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, com baixa fertilidade e alta acidez. A presença de óxidos de ferro e a homogeneidade química reforçam a classificação dentro



do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Á vista disso o solo P1 apresenta características bem comuns em P1m e P1e.

#### 6.1.6 Sistematização

O solo dos murundus apresentou 58,74% mais argila do que o entre murundus, essa diferença pode ser atribuída à atividade das térmitas, que selecionam particulados finos para a construção de seus ninhos, resultando em um solo mais coeso nos murundus. O entre murundus, por sua vez, apresenta maior teor de areia, possivelmente devido ao transporte seletivo da ação biológica e/ou por erosão superficial.

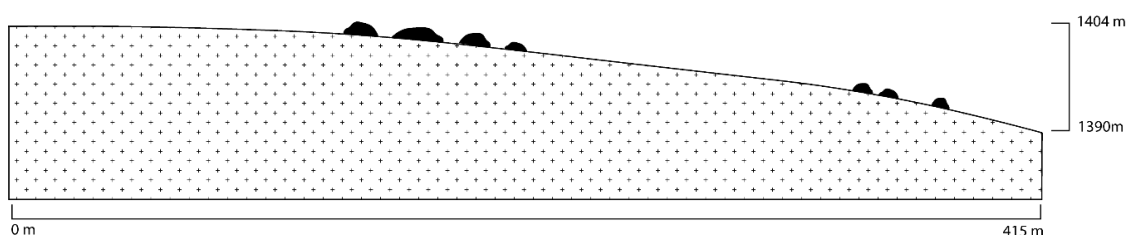
Os murundus apresentam teores mais elevados de matéria orgânica e carbono orgânico, sugerindo uma maior acumulação de material vegetal e influência biológica. Os nutrientes (Ca, Mg, SB) são ligeiramente superiores nos murundus, possivelmente devido à reciclagem promovida pelos organismos do solo. O fósforo total é semelhante entre as áreas, enquanto o fósforo remanescente é maior no entre murundus, o que pode estar relacionado à maior quantidade de argila nos murundus. A CTC total e efetiva é mais elevada nos murundus, indicando maior capacidade em reter e disponibilizar nutrientes às plantas.

### 6.2 PONTO AMOSTRAL 2

#### 6.2.1 Distribuição na Paisagem e Características Vegetativas

A vertente do ponto dois apresenta extensão de 415 metros, com variação altimétrica de 13 metros entre o topo e fundo de vale (altitude 1391 a 1404 metros), correspondendo a uma declividade média de 2,3%. Apresenta a dispersão do microrrelevo de campos de murundus ao longo de toda sua extensão, entretanto dispersam-se principalmente no topo e fundo de vale (Figura 59 e Figura 60).

Figura 59: Vertente de estudo ponto 2.



Fonte: Autora.

Figura 60: Paisagem dos campos de murundus ponto 2.



Fonte: Autora

Apesar de sua ampla distribuição ao longo da vertente, para a análise foram considerados apenas os murundus localizados na parte superior. Essa área caracteriza-se por um terreno predominantemente plano, com uma inclinação média inferior a 1%, o que favorece a formação de condições hidrológicas específicas.

Durante os períodos de alta pluviosidade, foi observado um grande acúmulo de água na superfície do solo, resultando na formação de um pequeno embaciamento, local onde se forma uma lagoa temporária, como pode ser observado na Figura 61.

Figura 61: Lagoa temporária observada no ponto 2 em épocas de alta pluviosidade.



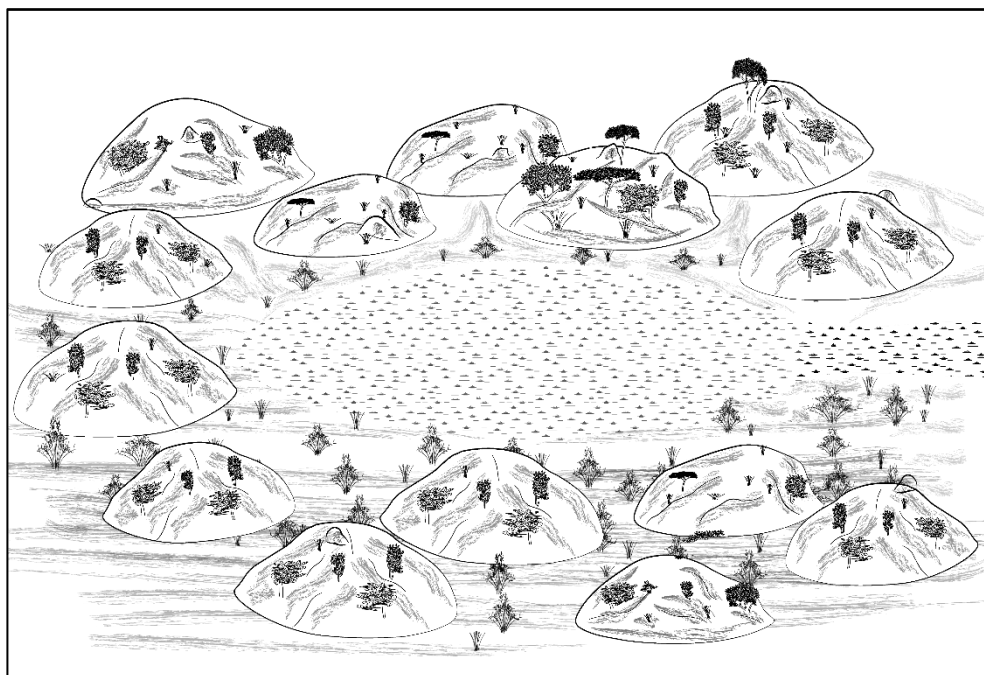
Fonte: Autora

Esse processo de embaciamento ocorre devido à baixa declividade do terreno, que reduz o escoamento superficial da água, permitindo que a precipitação se acumule nas depressões presentes entre os murundus (Figura 62). A presença de solos com baixa permeabilidade também pode contribuir para a retenção de água, criando condições propícias para a formação da lagoa. Essas lagoas temporárias, comuns em áreas de murundus, desempenham um papel ecológico importante, fornecendo habitats sazonais para diversas espécies, além de influenciar a dinâmica hídrica e a disponibilidade de nutrientes na região.

As lagoas temporárias reverberaram na vegetação local, promovendo o desenvolvimento de espécies hidrófilas durante os períodos de inundação e alterando a composição florística ao longo do ciclo hidrológico. Além disso, essas áreas alagadas podem servir como importantes zonas de recarga aquífera, contribuindo para a manutenção do equilíbrio hídrico na paisagem durante os períodos de estiagem.



Figura 62: Croqui representativo do Ponto 2 com lagoa temporária ao centro circundada dos morrotes de murundu



Fonte: Autora

De forma geral, a vegetação local caracteriza-se pela predominância de gramíneas e herbáceas, que formaram um mosaico natural em meio às elevações dos microrrelevos, pontuadas por pequenos arbustos que são encontrados majoritariamente nos montes. Estes montes, que variaram em tamanho e distribuição, abrigam uma diversidade de espécies vegetais adaptadas às condições específicas do micro-habitat criadas pelos murundus, incluindo pequenos arbustos, ciperáceas e outras espécies típicas do Cerrado. As gramíneas, como as espécies dos gêneros *Echinolaena* ssp e *Andropogon*, dominam a paisagem, enquanto espécies herbáceas como *Vellozia* e *Bulbostylis* acrescentam diversidade ao local.

A dinâmica sazonal exerce uma influência marcante sobre a vegetação dos campos (Figura 63). Durante o período seco, que se estende de maio a setembro, a vegetação exibiu uma coloração mais pálida e muitas espécies entraram em um estado de menor vigor, conservando energia e recursos hídricos. As gramíneas, em particular, apresentam folhas secas e amareladas, enquanto as herbáceas e pequenos arbustos nos murundus perdem parte de sua folhagem.

Por outro lado, no período chuvoso, que ocorre entre outubro e abril, a vegetação atingiu seu pleno vigor. As gramíneas renovam suas folhas, apresentando uma coloração verde intensa, e muitas espécies herbáceas entram em floração.

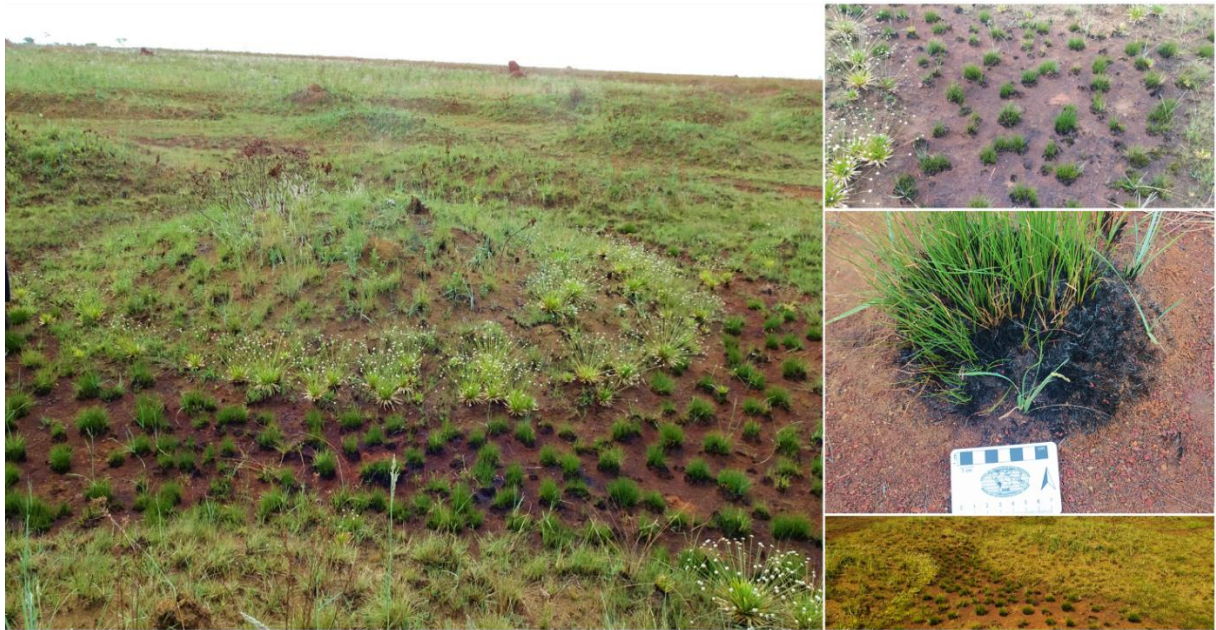
Figura 63: Variação sazonal do local (a/c) setembro de 2023 (b/d) fevereiro de 2024.



Fonte: Autora

Também foram observadas mudanças significativas na vegetação decorrentes da ação do fogo. Durante o período de estiagem, quando a vegetação seca predominava, um incêndio consumiu parte considerável da biomassa vegetativa (Figura 64). Esse evento teve um impacto particular especialmente nas áreas localizadas entre os morrotes de murundus. A combustão da matéria orgânica não só alterou a estrutura da vegetação existente, mas também pode ter influenciado a dinâmica ecológica da região.

Figura 64: Incêndio local durante o mês de setembro, nota-se o maior impacto do fogo na superfície entre os murundus, sendo os morrotes mais preservados de sua ação.

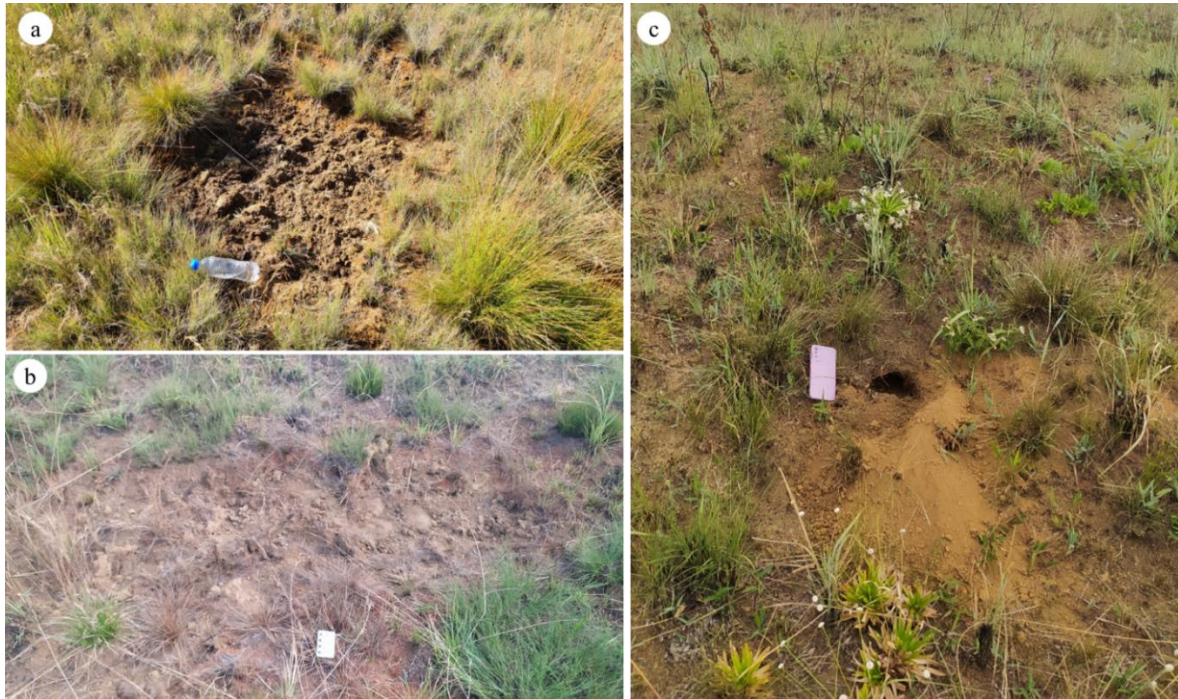


Fonte: Autora.

Alterações locais provenientes da ação da fauna também foram constatadas, caracterizadas por áreas de solo exposto, geradas pela ação de chafurdamento de javalis. Ao revolverem o solo em busca de alimentos, os animais desestruturaram sua camada superficial, gerando a remoção da vegetação, descaracterizando-a (Figura 65).



Figura 65: Ação de chafurdamento de javalis em diferentes meses evidenciando a exposição do solo.



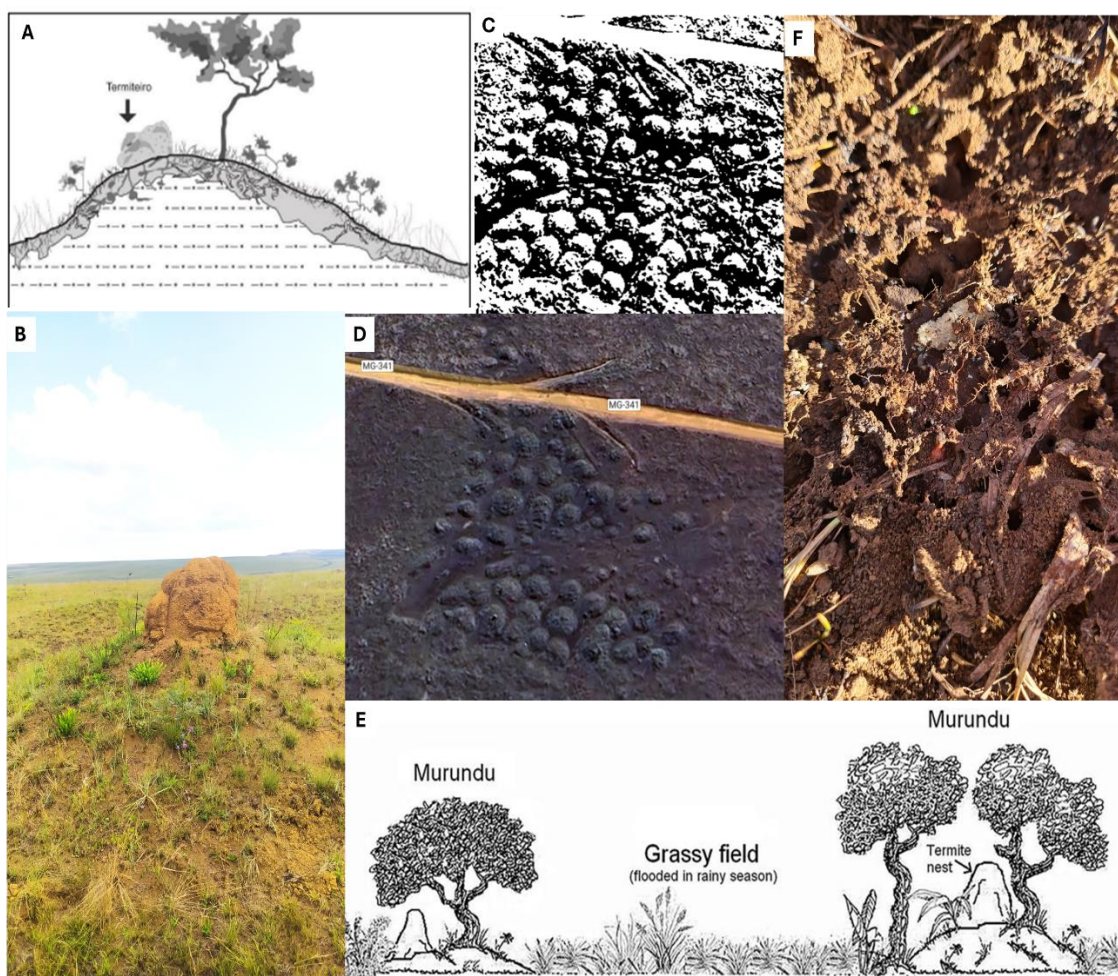
Fonte: Autora

Em relação às características morfológicas do local, os morrotes de murundus apresentam-se predominantemente arredondados, com diâmetros médios de 7,4 x 6,6 metros, alturas médias de 1,1 metros e espaçamento médio entre os montes de aproximadamente 3 metros. Esses dados indicam uma densidade de distribuição de 90 murundus por hectare (Figura 66- C e D).

De maneira ampla a imagem representa as características gerais do Ponto 2, destacando a distribuição e os elementos estruturais do campo de murundu. A foto aérea (D) evidencia a organização espacial dos murundus, enquanto o esquema (A) é validado pela imagem real (B), mostrando um murundu típico com um ninho de cupins ativo. A foto (F) confirma a presença de cupins no local, demonstrando a atividade biológica no solo. Por fim, a ilustração (E) fornece uma visão geral da paisagem, reforçando a relação entre os murundus, a vegetação e os termiteiros no ambiente estudado.



Figura 66: Foto área do ponto, com 45 murundus contabilizados.



Fonte: (E) Marimon, et al, 2015 (A) Moreira e Filho, 2017 (B, C, D e F) Autora.

A coloração observada nos ninhos de térmitas variou em tons de laranja, amarelo e marrom (Figura 67), sugerindo uma atividade biológica intensa. A presença da combinação dessas cores em alguns ninhos é indicativa de colônias ativas, o que aponta para um processo contínuo de construção e manutenção dos ninhos. As variações de cor também podem estar associadas às diferentes profundidades de solo exploradas pelas térmitas, refletindo a heterogeneidade do material subterrâneo utilizado na edificação dos ninhos.



Figura 67: Colônias de térmitas com diferentes colorações e condições (a/b/c) ninho com presença ativa de cupins (d) ninho com presença de fezes de pássaros indicando seu uso por distintas faunas e diferentes colorações (e/f) ninho de térmita com atividade ativa.



Fonte: Autora

### 6.2.2 Matizes do solo

Quanto à coloração dos morrotes de murundus, este apresentou uma tonalidade mais homogênea, com matizes que variaram entre o vermelho e o marrom. No perfil do solo, foram observadas variações notáveis apenas nos primeiros centímetros, com a camada P2M apresentando uma coloração marrom escuro com tonalidade amarelada, que gradualmente se transforma em um vermelho com tons de marrom e, nas camadas mais profundas, em um vermelho escuro. Já na camada P2E, o perfil inicia-se com uma

coloração marrom escuro com tons avermelhados, mantendo-se vermelho escuro nos últimos centímetros Quadro 7.

Quadro 7: Caracterização de cor do solo (Notação Munsell).

Perfil	Profundidade (cm)	Notação Munsell	Descrição
P2M	0 - 10	10YR 3/3	Marrom escuro
	90 - 100	5YR 3/4	Vermelho escuro moderado
	120 - 130	2.5YR 3/6	Vermelho escuro vibrante
P2E	0 - 10	7.5YR 3/4	Marrom escuro com tom avermelhado
	10 - 20	7.5YR 3/4	Marrom escuro com tom avermelhado
	20 - 30	2.5YR 3/6	Vermelho escuro vibrante
	40 - 270	2.5YR 3/6	Vermelho escuro vibrante

Fonte: Autora.

Essas características cromáticas e estruturais dos morrotes de murundus e dos ninhos de térmitas produzem informações importantes sobre os processos pedogenéticos e biológicos que ocorrem na área. A homogeneidade da cor nos murundus pode estar relacionada ao longo tempo de formação e à estabilidade das condições ambientais, enquanto as variações nos ninhos de térmitas sugerem a atividade contínua dessas comunidades.

### 6.2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO P2

O morrote de murundu apresentou altura de 0-60 cm, composto de forma predominante por material fino (Silte 43-55% e argila 28-42%), com uma baixa fração de areia (13-20%). Isso caracteriza um solo com textura franco-argilo-siltosa (Figura 68).

A proporção de argila aumenta nas camadas intermediárias 60-130 cm, variando de (37-41%), enquanto o silte reduz-se ligeiramente (22-43%), e a areia aumenta (16-25%) (Gráfico 5), caracterizando uma textura argilo-siltosa.

Nas profundidades maiores (130-200 cm), há um aumento na fração arenosa (20-40%), enquanto o silte diminui significativamente (8-26%), e a argila permanece elevada (40-58%) (Gráfico 5), caracterizando um solo de textura argilosa (Figura 68). Essa transição sugere um horizonte subsuperficial com possível acumulação de argila em profundidade (argiluviação).

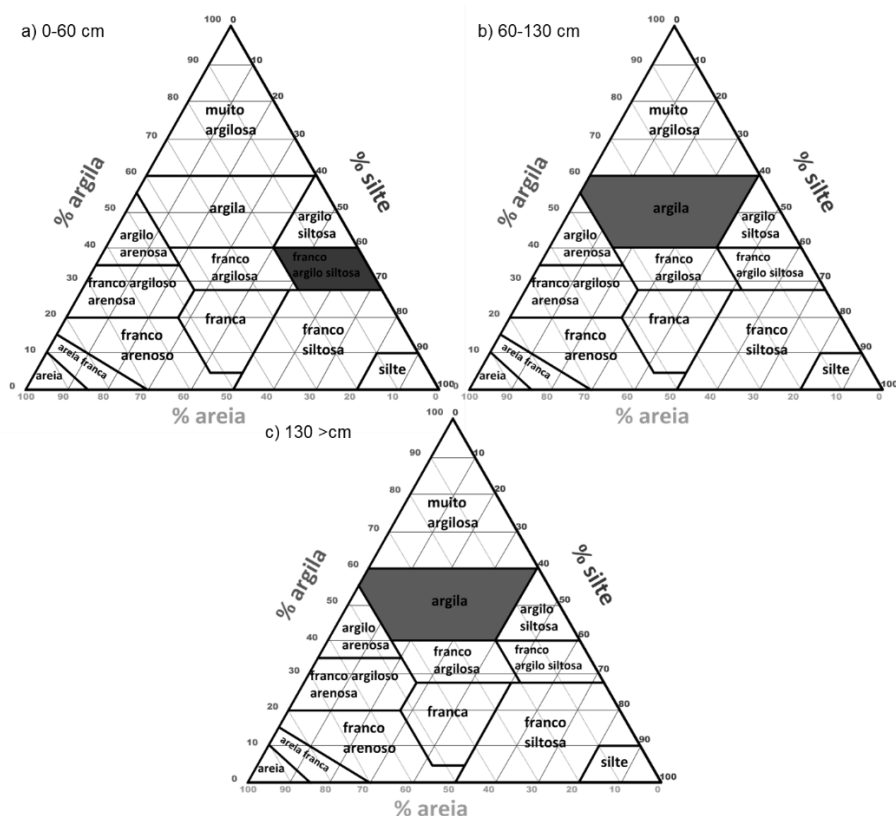
A variação textural ao longo do perfil do solo é uma evidência de processos pedogenéticos em ação. Nas profundidades maiores, a predominância de argila pode sugerir a formação de horizontes Bt, típicos de solos bem desenvolvidos onde há significativa translocação de argila. O silte, que também é abundante, contribui para a textura fina do solo, o que pode estar associado a processos de intemperismo de rochas, ou pela seleção ativa de agentes biopedoturbarores do solo.

Gráfico 5: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 2 – Amostra coletada sobre murundus (P2M).



Fonte: Autora.

Figura 68: Triângulo textural P2M em diferentes profundidades.

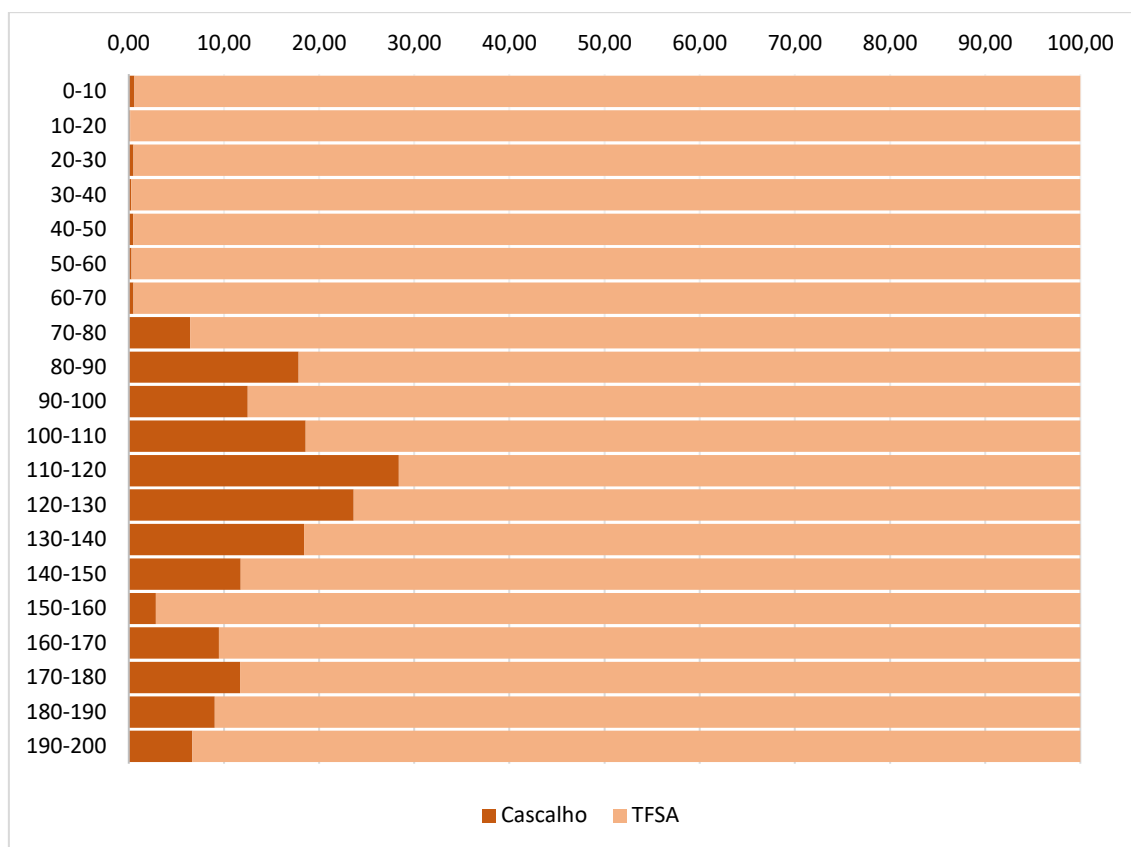


Fonte: Autora

No morrote do murundu P2M há uma concentração significativa de cascalhos em camadas intermediárias (70–140 cm) (Gráfico 6), enquanto as camadas superficiais (0–70 cm) são predominantemente compostas por TFSA. Já no P2E os cascalhos se concentram predominantemente na camada mais superficial (até 50 cm), com uma redução gradual conforme se aprofunda no perfil do solo (Gráfico 8). Essa camada intermediária de cascalhos ao lado do murundu pode indicar:

Processos erosivos: Cascalhos podem ter sido transportados para essa posição ao longo do tempo, devido à erosão superficial no entorno do murundu. Deposição antiga: Os cascalhos em camadas intermediárias podem representar uma antiga camada deposicional, associada a eventos hidrológicos ou sedimentares. Hidrodinâmica diferenciada: Murundus influenciam o microrrelevo e o fluxo de água, criando condições que favorecem a sedimentação de partículas maiores, como cascalhos, em áreas adjacentes. Seleção biológica: Onde os agentes da fauna do solo ao revolverem as partículas selecionam tamanhos específicos, intimamente ligados à sua capacidade de carregamento, ou seja, priorizando partículas mais finas.

Gráfico 6: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 2 sobre murundus (P2M).



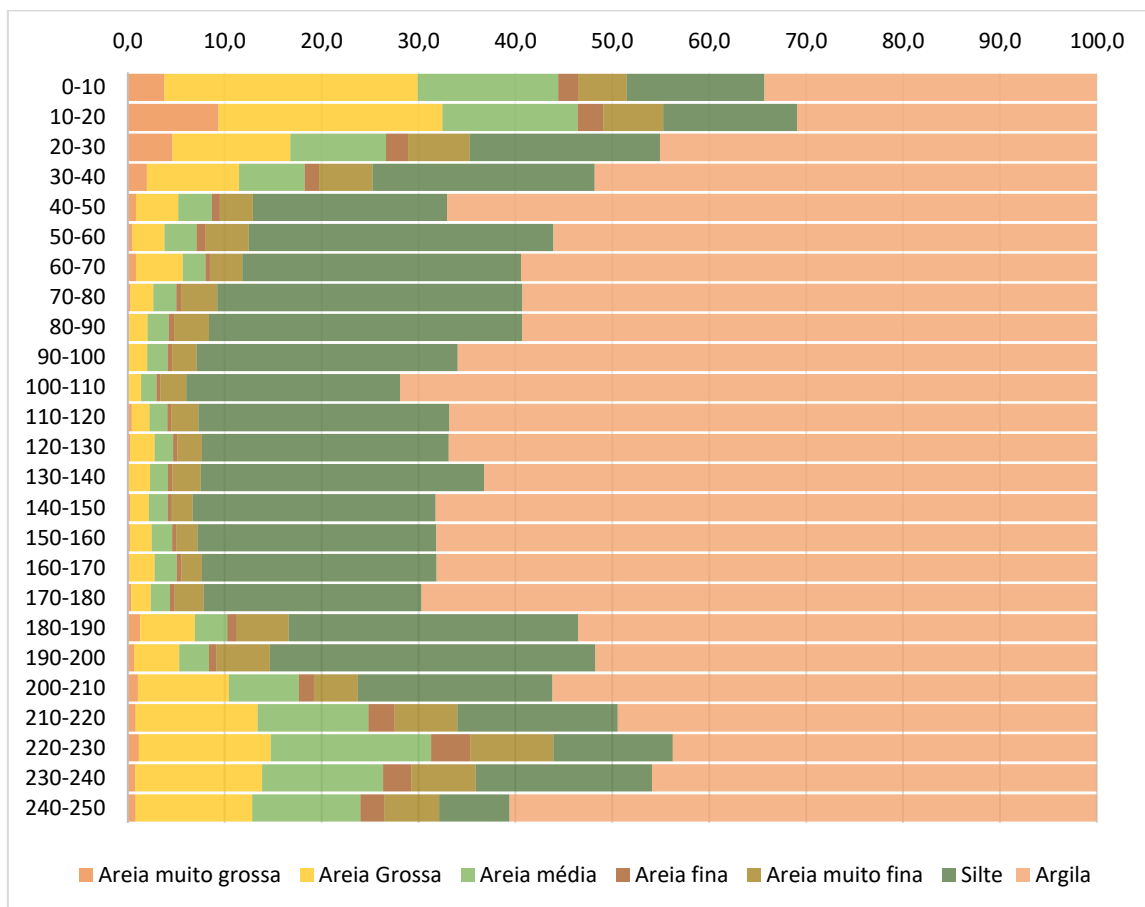
Fonte: Autora.

As camadas mais superficiais (0-20 cm) do entre murundus apresentam uma composição em que a soma das frações de areia varia entre 51,5% e 55,2%, enquanto os teores de argila ficam em torno de 31% a 34,3% (Gráfico 7). Essa composição caracteriza um solo de textura franco-argiloso-arenosa (Figura 69).

A partir da profundidade de 20 cm, os teores de argila aumentam significativamente, atingindo valores acima de 45%, enquanto a soma das frações de areia reduz, ficando geralmente abaixo de 36% (Gráfico 7). Essa camada é classificada como argilosa (Figura 69), evidenciando uma dominância de partículas finas.

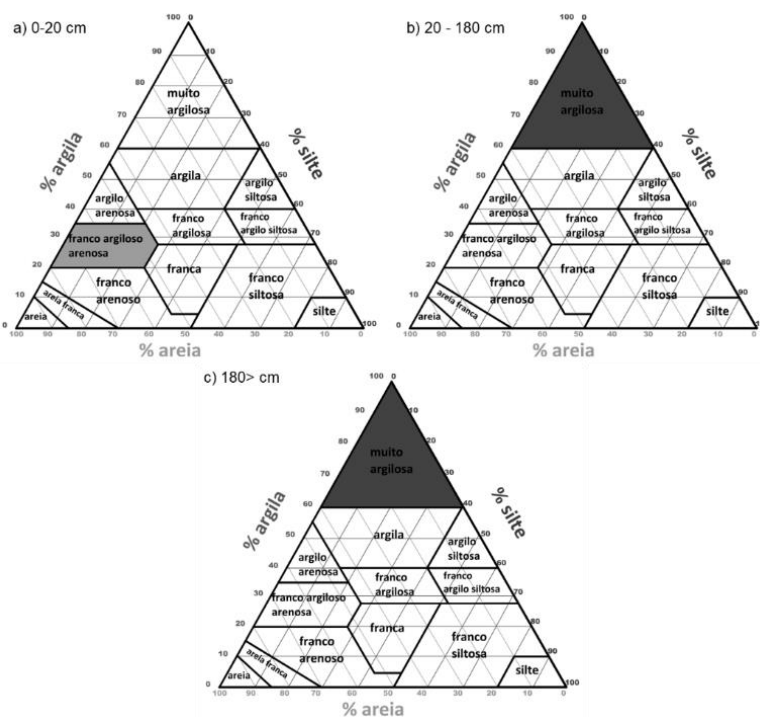
A argila permanece elevada nas profundidades seguintes (20-250 cm), passando de 34,33% na superfície para 65,97% na profundidade de 90-100 cm. Nas faixas mais profundas do solo (100-200) a fração de areias continua baixa e as partículas mais finas (silte e argila) continuam predominando.

Gráfico 7: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 2E – Amostra coletada entre murundus.



Fonte: Autora.

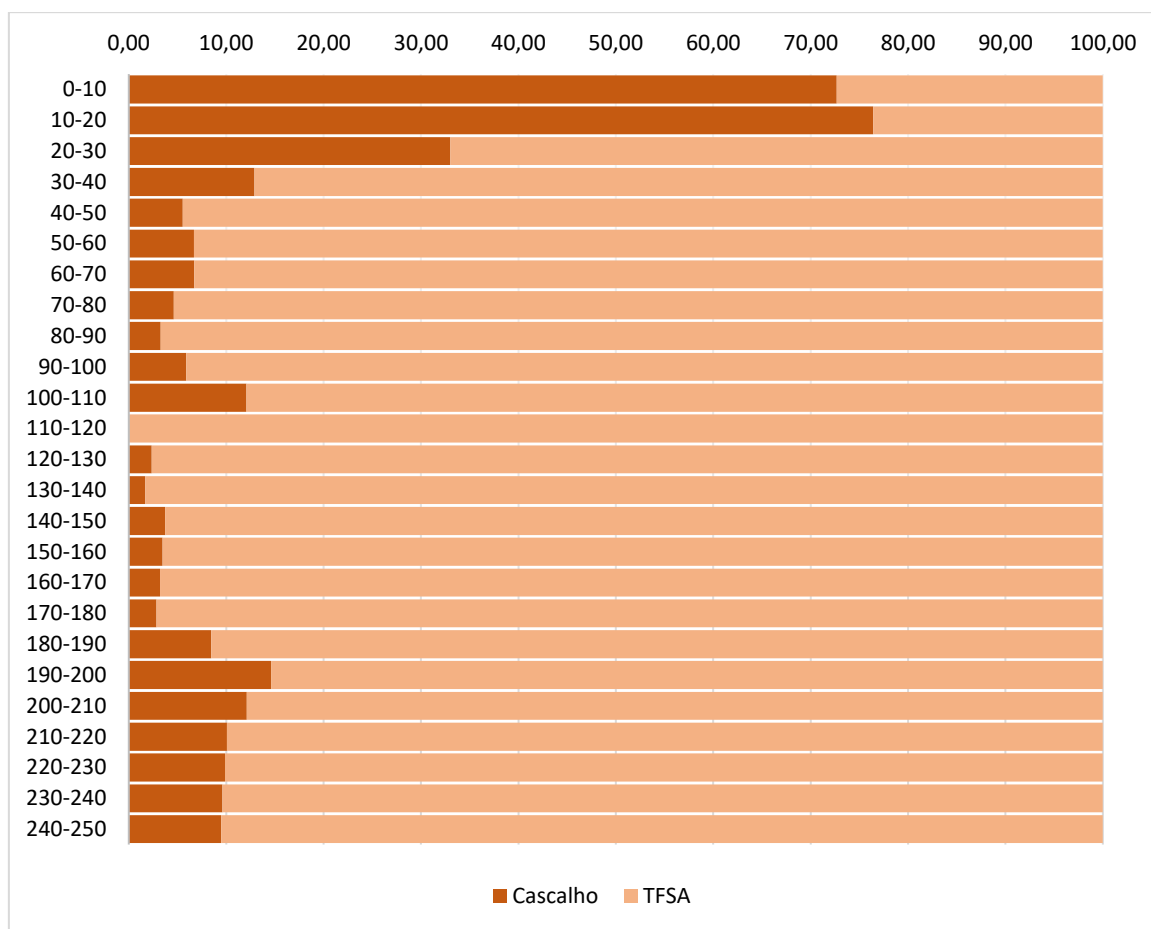
Figura 69: Triângulo textural P2E em diferentes profundidades.



Fonte: Autora.



Gráfico 8: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 2 entre murundus (P2E).



Fonte: Autora.

#### 6.2.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO P2

##### Ponto 2 Murundu (P2M)

O solo do P2M apresentou valores baixos de pH (4,64 a 5,06) indicando um solo ácido em todas as profundidades, essa acidez é característica de ambientes tropicais e reflete intemperismo intenso e a lixiviação de cátions básicos, como cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), e potássio ( $\text{K}^{+}$ ) (Tabela 3).

Tabela 3: Características químicas das amostras P2 em cima (topo) P2m e entre murundus (entre) P2e.

Composição Química																	
Profundidade	pH	K	Ca	Mg	SB	Al	H+Al	T	t	V	M	Fe	P rem.	P	C.O	C.O	MO
	H2O	cmolc dm <sup>-3</sup>							%			mg dm <sup>-3</sup>		total		%	dag kg <sup>-1</sup>
P2M 0-80	4,96	0,06	0,09	0,04	0,19	0,27	6,76	6,95	0,46	2	58,19	37,91	3,5	1764,33	2,46	6,76	2,87
P2M 80-120	4,79	0,02	0,05	0,01	0,08	0,75	8,34	8,42	0,83	0	90,03	21	0,57	1538,5	1,77	8,34	1,68
P2M 120-160	4,64	0,01	0,06	0,02	0,09	0,62	6,02	6,11	0,71	1	86,36	6,08	2,18	1134,45	1,62	0,58	1,01
P2M 160-200	5,06	0,01	0,06	0,01	0,08	0,36	6,97	7,05	0,44	1	80,37	6,65	3,63	1279,68	1,67	0,67	1,17
P2E 0-20	5,18	0,03	0,08	0,03	0,14	0,2	5,59	5,73	0,34	2	57,41	65,78	0,64	1902,34	4,87	1,63	2,82
P2E 20-50	4,86	0,02	0,05	0,02	0,09	0,5	6,9	6,99	0,59	1	83,95	13,51	4,89	1255,17	2,43	0,64	1,12
P2E 50-110	4,57	0,02	0,07	0,01	0,1	0,92	6,55	6,65	1,02	1	90,15	44,17	5,73	1010,9	1,18	0,58	1,01
P2E 110-180	4,64	0,01	0,05	0,01	0,07	0,89	6,15	6,22	0,96	1	92,43	2,15	5,85	993,51	2,19	0,61	1,21
P2E 180-220	4,79	0,01	0,06	0,02	0,09	0,62	8,25	8,34	0,71	1	86,67	3,74	4,78	918,87	1,52	0,63	1,09
P2E 230-270	4,95	0,01	0,05	0,01	0,07	0,49	6,97	7,04	0,56	1	86,28	1,79	5,73	1022,53	0,91	0,34	1,11

Observação: Os valores de fósforo total apresentados podem estar superestimados devido a possíveis inconsistências analíticas no processo laboratorial.

Fonte: Autora

A saturação por alumínio (m%) se mostrou elevada em todas as camadas, chegando a 90,03% na camada de 80-120 cm, de forma prática essa alta saturação indica toxicidade potencial para plantas não adaptadas. No entanto, no Cerrado, muitas espécies possuem adaptações a essas condições. Além disso, essa característica influencia a distribuição das plantas sobre os murundus.

A saturação por bases varia de 0% a 2%, indicando um solo distrófico, resultando o intenso processo de lixiviação (Resende et al., 2011). Os teores de Fe se mostraram elevados, especialmente na camada superficial (37,91 mg/dm<sup>3</sup>) e foram diminuindo com a profundidade (6,08 mg/dm<sup>3</sup> em 120-160 cm) podendo estar relacionado assim como em Schwertmann e Taylor, (1989) à formação de óxidos de ferro (hematita e goethita), ou seja, remete a camada de cascalhos lateríticos próxima a superfície.

O conteúdo de matéria orgânica (MO) varia de 1,01% a 2,87%, com maior concentração nas camadas superficiais (0-80cm), e decresce com a profundidade (1,17 dag/kg na camada 160-200 cm), podendo ser explicada pela decomposição de resíduos vegetais acumulados em superfície (Stevenson, 1994). Apesar da baixa concentração geral, a MO superficial contribui para a capacidade de retenção de nutrientes (CTC), embora esta ainda seja muito limitada devido ao caráter distrófico do solo.

Os valores do fósforo remanescente (P rem.) se apresentaram baixos, variando de 0,57 a 3,63 mg/dm<sup>3</sup>, evidenciando baixa disponibilidade de fósforo no solo, sendo esses

resultados comuns em solos ácidos devido à reação do P com óxidos de ferro e alumínio, formando compostos pouco solúveis (Novais e Smyth, 1999).

A CTC efetiva apresenta valores muito baixos, variando entre 0,44 e 0,83 cmolc/dm<sup>3</sup>. A CTC pH 7,0, embora maior (6,02 a 8,42 cmolc/dm<sup>3</sup>), evidencia que grande parte da capacidade de troca está associada a cargas variáveis (dependentes do pH). Solos com predominância de minerais de argila 1:1 (como caulinita), óxidos de ferro e alumínio apresentam baixa CTC (Resende et al., 2011).

O solo no ponto P2M apresenta caráter distrófico, fortemente intemperizado e características de baixa fertilidade natural, como acidez elevada, alta saturação por alumínio e baixa CTC efetiva. Essas condições refletem a atuação prolongada de processos de intemperismo químico em clima tropical, com lixiviação de bases e acúmulo de óxidos de ferro e alumínio.

O perfil P2M foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (SiBCS), esse solo apresenta um horizonte B textural (Bt), caracterizado pelo aumento expressivo de argila em relação ao horizonte A ou E sobrejacente, devido ao processo de iluviação - translocação de argila, o que pôde ser visto no perfil, um aumento significativo no teor de argila em profundidade (120–160 cm e abaixo).

Outras evidências são a maior saturação por bases em camadas mais profundas, junto com o aumento de argila, sugerindo um horizonte Bt bem definido e o comportamento químico do perfil, com uma certa variação nos teores de Al<sup>3+</sup> e CTC, reforçando a presença de horizontes diferenciados, característica dos Argissolos.

## **Ponto 2 Entre Murundus (P2E)**

O pH do P2E varia de 5,18 na camada superficial (0–20 cm) até 4,57–4,95 nas camadas mais profundas, valores que indicam acidez moderada a forte, típica de solos altamente intemperizados, como os presentes em ambientes tropicais. Sousa et al. (2004), destacam que solos com pH abaixo de 5,5 geralmente apresentam elevada saturação por Al<sup>3+</sup>, o que prejudica o desenvolvimento de raízes e a disponibilidade de nutrientes.

Os teores de ferro são elevados na superfície (65,78 mg/dm<sup>3</sup>) e diminuem nas camadas mais profundas, chegando a 1,79 mg/dm<sup>3</sup> (230–270 cm) novamente indicando associação a formação de óxidos de ferro. Por outro lado, o P rem. variou entre 0,64 mg/dm<sup>3</sup> (0–20 cm) e 5,85 mg/dm<sup>3</sup> (50–110 cm) correspondendo a valores baixos (<10 mg/dm<sup>3</sup>) indicando baixa disponibilidade, sendo estes valores também observados nos

estudos de Novais e Smyth (1999), que explicam que solos com altos teores de Al e Fe possuem elevada capacidade de adsorção de fósforo.

A saturação por bases variou de 2% (0–20 cm) até 1% nas camadas mais profundas sendo caracterizada como muito baixa, e indicando para o solo baixa fertilidade e alta acidez, em contrapartida a saturação por Al (m%) se apresentou elevada atingindo 57–92% ao longo do perfil. A CTC efetiva exibiu-se baixa em todo o perfil, com valores máximos de 0,34 cmolc/dm<sup>3</sup> (0–20 cm) e mínimos de 0,56 cmolc/dm<sup>3</sup> (230–270 cm).

O teor de carbono orgânico foi mais elevado na superfície (4,87 dag/kg) e diminuiu significativamente com a profundidade, chegando a 0,91 dag/kg na camada 230–270 cm. A matéria orgânica acompanha esse padrão, com 2,82% na superfície, diminuindo com a profundidade.

Baseando-se nos critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), o P2e também é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico devido as características obtidas e semelhanças ao P2m.

#### 6.2.5 Sistematização

Ao comparar os solos dos murundus com os das áreas entre eles, observa-se que ambos são predominantemente compostos por partículas finas. No entanto, os morrotes se destacam por uma maior concentração dessas frações, especialmente de silte, que frequentemente ultrapassa 50%. Em contrapartida, a granulometria das áreas entre os murundus (P2E) é mais variada, apresentando maior proporção de areia nas camadas mais profundas.

Ambos os locais possuem uma camada de cascalhos lateríticos, que se encontra na mesma profundidade em ambos os casos. Essa camada é composta, principalmente, por concreções, cujos diâmetros variam entre 0,2 e 0,35 centímetros, conforme mostrado nos Gráficos 6 e 8.

Em termos químicos, o solo entre os murundus (P2E) apresenta maiores concentrações de elementos químicos, com destaque para o fósforo remanescente (+176,7%), alumínio (+58,8%) e cálcio (+42,9%). Por outro lado, o solo dos murundus (P2M) se destaca por um aumento significativo no carbono orgânico (+37,3%), indicando um maior acúmulo de matéria orgânica.

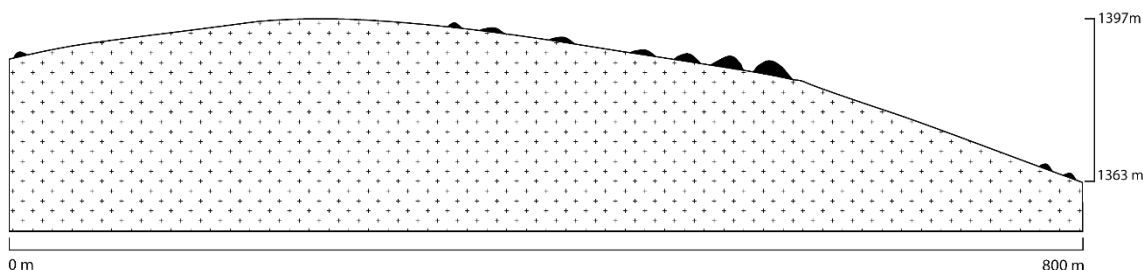
### 6.3 PONTO AMOSTRAL 3

#### 6.3.1 Distribuição na Paisagem e Características Vegetativas

A vertente do ponto três apresenta comprimento de rampa de 800 metros, a qual abrange uma porção entre as cotas altimétricas de 1363 a 1400 metros (Figura 70). Ao longo de sua extensão exibe diferentes declividades, sendo inferiores a 2% em seu terço superior, e variando 6 % a 10 % em seu terço médio e inferior, com declividade média total de 5,4%.

O campo de murundus localiza-se principalmente em seu terço superior, em uma área de 67.458 m<sup>2</sup>, apresentando relevo suave, no entanto, a presença dos morrotes de murundus também é observada no fundo de vale. Entre o terço superior e terço médio da vertente existe um desnível abrupto, sendo linha separadora entre o campo de murundus e demais áreas.

Figura 70: Vertente do ponto 3.

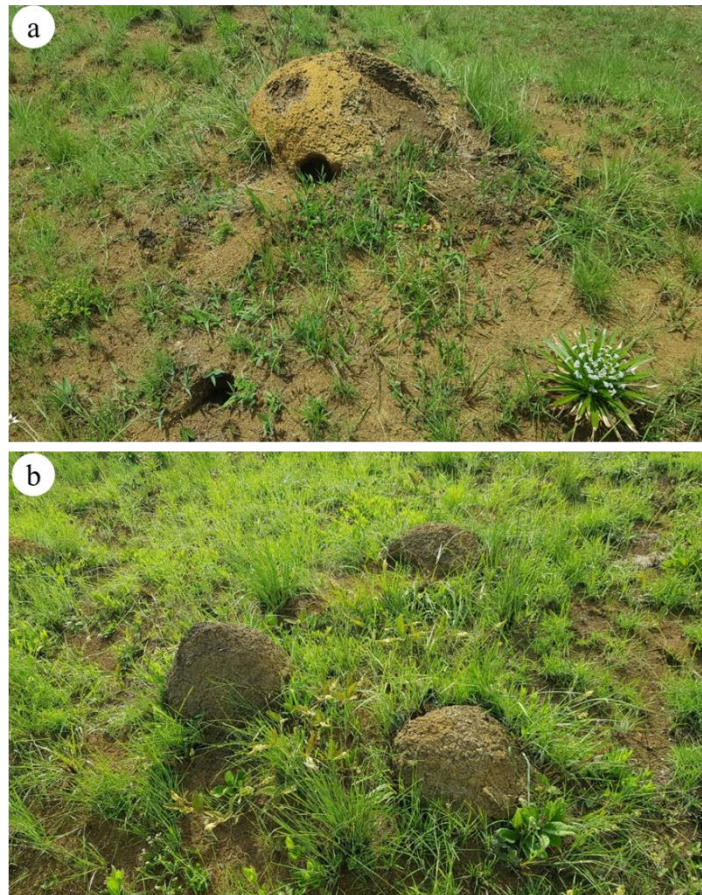


Fonte: Autora

Os morrotes de murundus expressaram alturas distintas, em que, os próximos ao divisor de águas apresentaram-se mais baixos em relação aos posicionados em cotas mais baixas da vertente. No geral, exibiram alturas médias de 90 centímetros, diâmetros médios de 7,7 x 7,2 metros, com espaçamentos médios entre morrotes de 3 metros, não sendo observados conexões entre os montículos, exibindo a área 102 murundus/hectare.

Não foram visualizados a presença de termiteiros entre os morrotes de murundus, sendo visualizados apenas sobre os murundus. Também foi possível notar que poucos murundus apresentaram termiteiros, onde, a grande parte destes exibiram estruturas avariadas, resultantes da ação de predação, principalmente de tamanduás (Figura 71 -a).

Figura 71: (a) termiteiro destruído por tamanduá (b) colônias ativas e recém-formadas nos solos residuais de antigas colônias



Fonte: Autora

A vegetação do local caracteriza-se por um conjunto heterogêneo de plantas, contudo, foi observado um caráter seletivo na distribuição das espécies ao longo da extensão dos murundus. Gramíneas, como as do gênero *Echinolaena spp.*, dispersam-se por todo o terreno, cobrindo tanto os morrotes como as áreas planas entre eles. Em contrapartida, espécies herbáceas distribuem-se de forma pontual, limitando-se às elevações dos murundus, fato também observado por Oliveira-Filho, 1992; Resende et al., 2004 e Confessor, 2023.

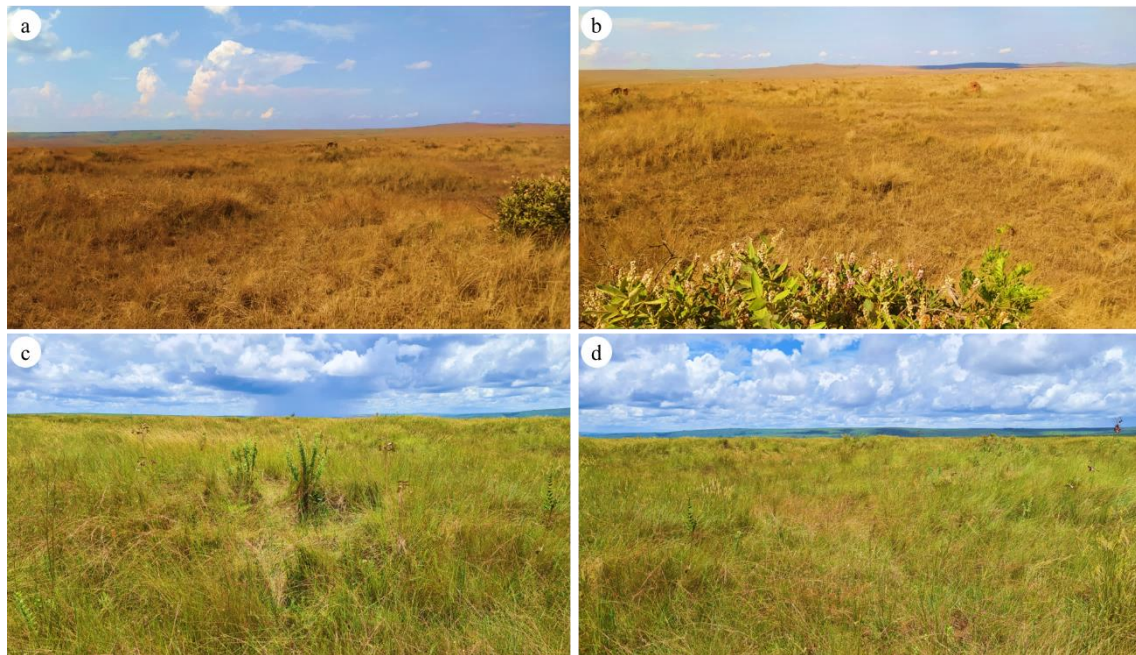
A variação sazonal expressa ao longo do ano conferiu modificações nas estruturas foliares das plantas (Figura 72). Um incêndio ocorrido durante o período de entre chuvas também afetou a vegetação local, consumindo grande parte da biomassa e deixando apenas as espécies mais resistentes, como as sempre-vivas (*Helichrysum*).

Após o evento, a vegetação iniciou um processo de recomposição, com destaque para as gramíneas que retomaram o crescimento, apresentando estruturas foliares mais



verdes em contraste com as áreas não queimadas, que exibiram folhas secas. Todavia, a vegetação dessa porção não atingiu seu clímax durante o período de estudo, devido às mudanças ambientais restritivas, como disponibilidade limitada de água e nutrientes, além de pressões de consumo, como fogo e pastejo (Confessor et al., 2022).

Figura 72: Sazonalidade notado ao longo dos meses no ponto 3.



Fonte: Autora

A regeneração da vegetação foi lenta e gradual, com aumento progressivo de biomassa ao longo dos anos. Após três anos de monitoramento, a altura vegetativa na área queimada ainda era inferior à das áreas adjacentes não afetadas (Figura 73), indicando que a recuperação completa da cobertura vegetal requer um período prolongado. No croqui abaixo da imagem, é possível visualizar como a vegetação se apresentaria sem a influência das queimadas, com uma composição mais arbustiva e herbácea, em contraste com a predominância de gramíneas observada no campo.

Figura 73: Recuperação vegetativa nos campos de murundus após episódios de queima.



Fonte: Adaptado de Patrick Guenette,

Além dos impactos na vegetação, o incêndio causou danos significativos à camada superficial do solo, resultando em um encrostamento visível (Figura 74). Como consequência, ocorre o selamento superficial do solo, intensificando sua impermeabilização. Esse selamento impede a infiltração de água, o que, por sua vez, aumenta a erosão e a perda de nutrientes essenciais, além de dificultar a regeneração da vegetação (Kato, 2020).



Figura 74: Camada superficial afetada pela ação do fogo nos meses entre chuvas.



Fonte: Autora

### 6.3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO P3

O murundu apresentou altura de 50 centímetros, sendo composto predominantemente por materiais finos, compostos por argila e silte, sendo classificado como argiloso (Figura 75). Em sua base apresenta uma camada de cascalhos, compostos por material laterítico, com predomínio de partículas com diâmetros inferiores a 2 mm.

Diferente do restante do perfil, a granulometria do solo na faixa de cascalhos lateríticos apresentou aumento na proporção de areias, principalmente da fração grossa, podendo indicar a degradação dos cascalhos, ou seleção dos materiais por eventual presença de animais no solo, em especial as térmitas, abundantes no local (Gráfico 9 e Gráfico 10).

Este gráfico de barras empilhadas ilustra a distribuição percentual das frações granulométricas para 20 classes de tamanho de partícula, variando de 0-10 a 180-190 micrometros. O eixo horizontal representa a porcentagem, variando de 0,0 a 100,0. O eixo vertical lista as classes de tamanho de partícula. A legenda indica as seguintes frações: Areia muito grossa (laranja claro), Areia Grossa (amarelo), Areia média (verde claro), Areia fina (marrom), Areia muito fina (verde escuro), Silte (verde escuro) e Argila (laranja escuro).

Tamanho de Partícula (micrometros)	Areia muito grossa	Areia Grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Silte	Argila
0-10	0,0	10,0	10,0	5,0	5,0	65,0	15,0
10-20	0,0	10,0	10,0	5,0	5,0	65,0	15,0
20-30	2,0	8,0	10,0	5,0	5,0	60,0	15,0
30-40	0,0	5,0	10,0	5,0	5,0	75,0	15,0
40-50	0,0	10,0	10,0	5,0	10,0	65,0	10,0
50-60	2,0	8,0	10,0	5,0	10,0	65,0	10,0
60-70	2,0	10,0	10,0	5,0	10,0	63,0	10,0
70-80	2,0	23,0	13,0	5,0	10,0	47,0	10,0
80-90	2,0	25,0	13,0	5,0	10,0	45,0	10,0
90-100	2,0	23,0	15,0	5,0	10,0	45,0	10,0
100-110	2,0	13,0	10,0	5,0	10,0	60,0	10,0
110-120	2,0	16,0	5,0	5,0	10,0	62,0	10,0
120-130	2,0	8,0	3,0	5,0	10,0	72,0	10,0
130-140	0,0	5,0	3,0	2,0	10,0	80,0	10,0
140-150	0,0	3,0	2,0	2,0	10,0	83,0	10,0
150-160	0,0	3,0	2,0	2,0	10,0	83,0	10,0
160-170	0,0	3,0	2,0	2,0	10,0	83,0	10,0
170-180	0,0	3,0	2,0	2,0	10,0	83,0	10,0
180-190	0,0	3,0	2,0	2,0	10,0	83,0	10,0

Figura 75: Triângulo textural P3M todas as profundidades resultaram em textura argilosa.

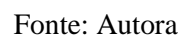
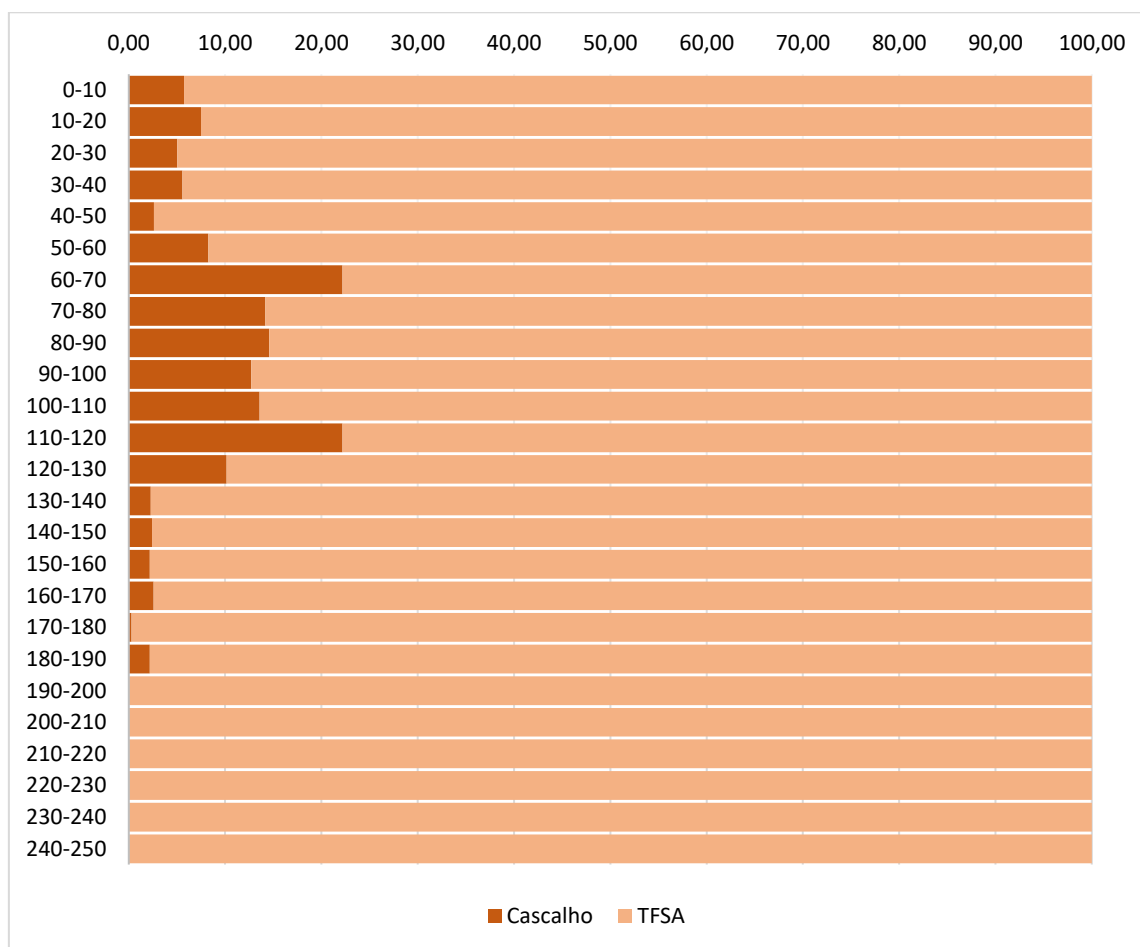


Gráfico 10: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 3 sobre murundus (P3M).



Fonte: Autora

No solo entre murundus (Gráfico 11) uma camada de cascalhos foi constatada em superfície, coincidindo com o mesmo nível da camada de cascalhos presente na base do murundu. Nesta faixa o solo exibe textura com maior presença de areias, especialmente nas primeiras camadas de 0-30 cm, apresentando textura predominante franco-arenosa nesta camada.

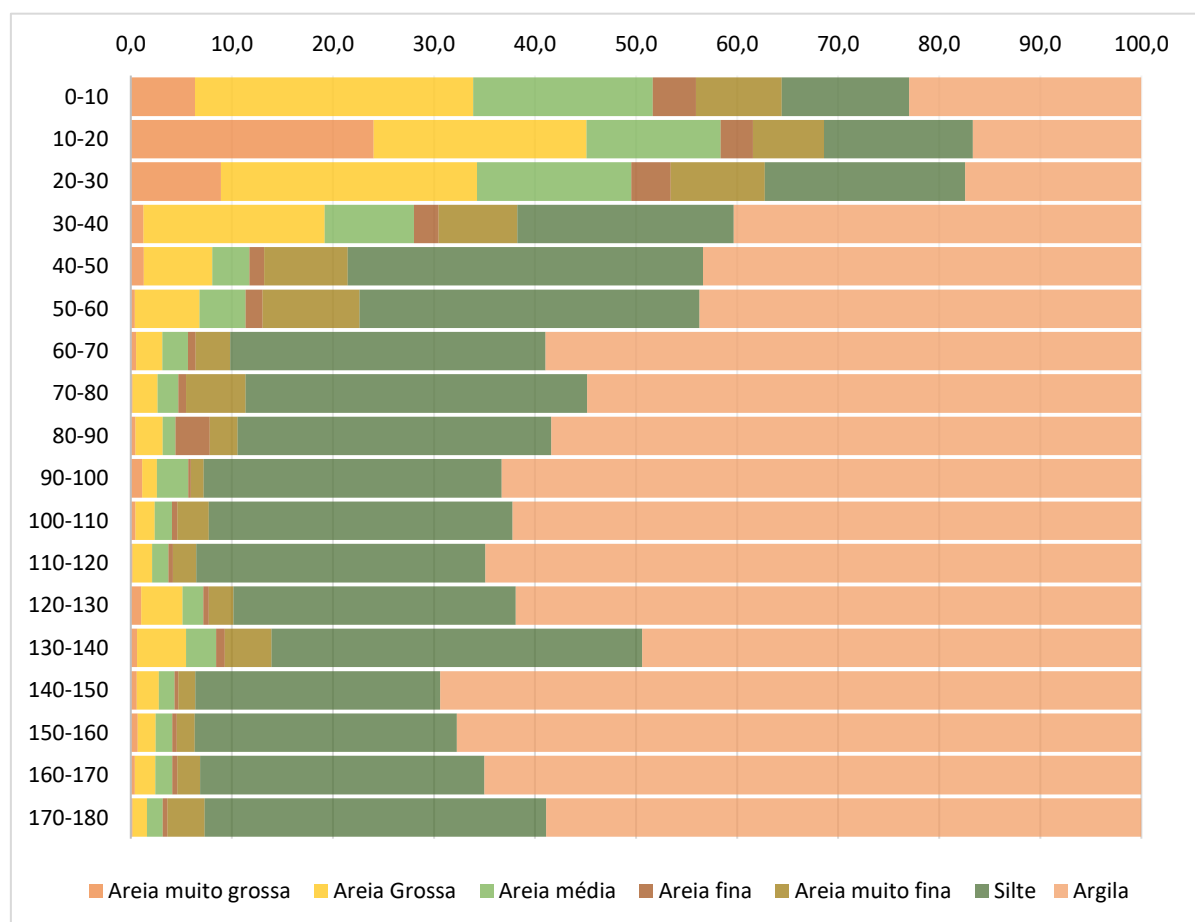
De 30 a 60 cm nas camadas intermediárias ocorre um aumento no teor de silte e argila em relação à camada superficial. A areia fina e muito fina também se torna mais expressivas, enquanto as frações de areia mais grossa diminuem. Esse comportamento sugere uma transição para uma estrutura mais argilosa, o que pode influenciar a retenção de água e a estabilidade do solo, sendo o solo desta profundidade classificado como Franco-argilosa a Argilosa (Figura 76).

A fração de argila aumenta consistentemente com a profundidade, sendo mais baixa nas camadas superficiais (230-174 g/kg) e atingindo valores mais elevados nas

camadas mais profundas (acima de 400 g/kg). Essa tendência indica um solo que se torna progressivamente mais argiloso em profundidade, o que é comum em perfis de solos mais desenvolvidos, onde a argila tende a se acumular em camadas mais profundas devido à translocação e lixiviação de partículas finas.

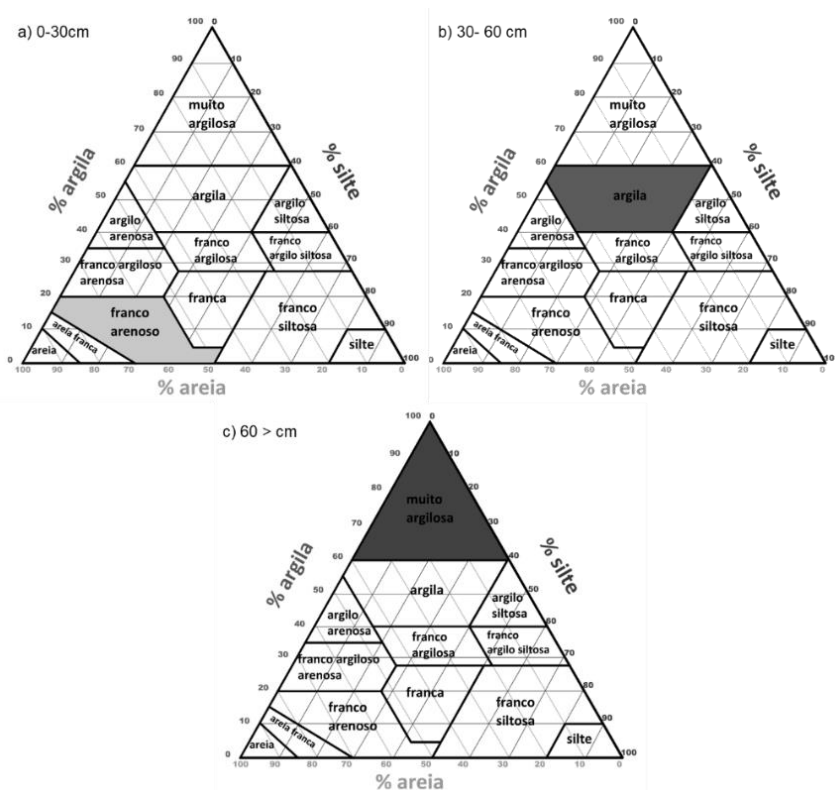
A menor quantidade de materiais de textura mais fina próximo a superfície pode remeter a presença de térmitas, visto que os animais utilizam as áreas entre murundus para prospecção de alimentos. No ato de escavação removem os materiais, podendo haver a seleção de partículas, especialmente as mais finas, como argilas, resultando em uma camada de material mais grosso próximo a superfície.

Gráfico 11: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 3E – Amostra coletada entre murundus.



Fonte: Autora.

Figura 76: Triângulo textural P3E em diferentes profundidades.



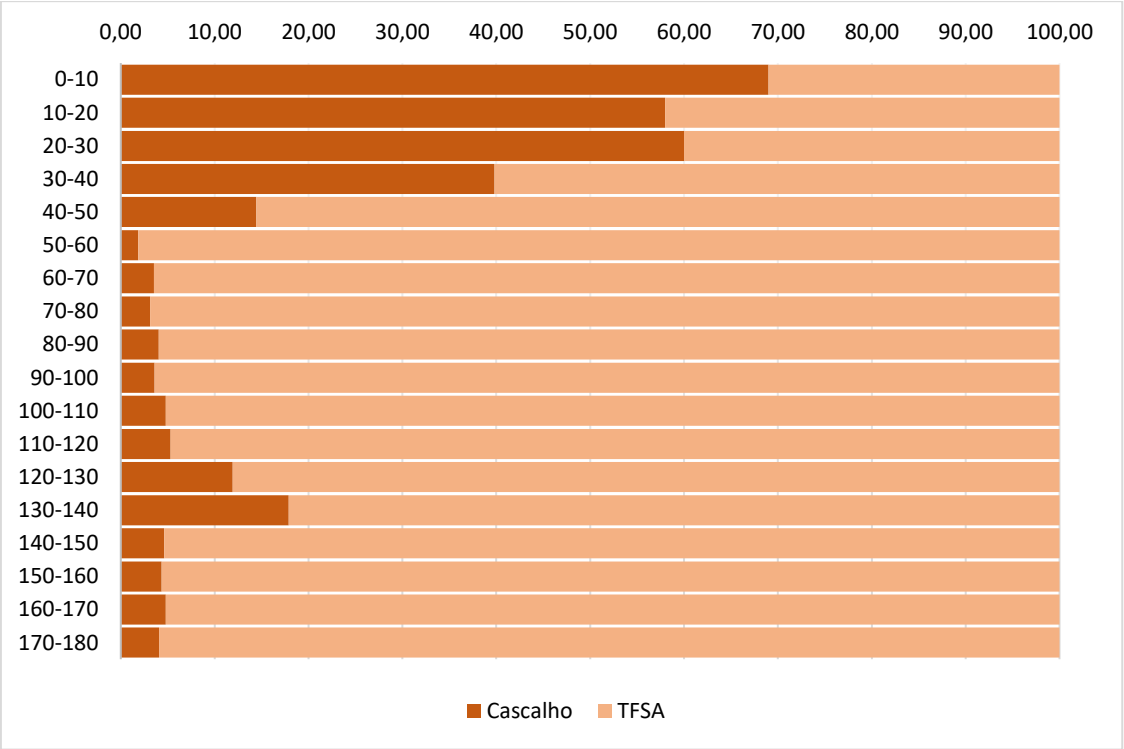
Fonte: Autora.

O teor de cascalho por sua vez, diminui progressivamente com a profundidade, sendo mais abundante na camada superficial (0-40 cm) (Gráfico 12) constituído por material concrecionário com tamanho predominante de 2mm. A presença elevada de cascalhos nessas camadas superficiais pode indicar uma deposição aluvial ou coluvial anterior, erosão seletiva que deixou essas frações mais grossas na superfície, ou ainda atividade das térmitas no carreamento e escolha de partículas menores e selecionadas.

A uma profundidade de 60 centímetros, identificaram-se também mosqueados vermelhos e amarelos, típicos de processos de oxidação de ferro e alumínio no solo. A partir de 1 metro e 30 centímetros, os cascalhos deixaram de ser detectados, indicando uma transição para camadas mais finas.



Gráfico 12: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 3 entre murundus (P3E).



Fonte: Autora.

6.3.3 Matizes do solo

Os padrões de coloração sugerem que solos exibe diferentes níveis de oxidação e desenvolvimento ao longo do perfil, provavelmente devido a variações na drenagem e presença de matéria orgânica. O morrote exibe coloração voltada a matizes de marrom (Quadro 8), indicando que não são acometidos por ciclos de umedecimento frequente. De forma contraria, o solo entre murundus exibe matizes avermelhados, sendo encontrados diversos mosqueados, indicando a presença de reações redox no solo, oriundas de oscilações frequentes no nível freático.

Quadro 8: Caracterização de cor do solo (Notação Munsell).

Perfil	Profundidade cm	Notação Munsell	Descrição
P3M	0 - 10	10YR 3/3	Marrom escuro (ligeiramente amarelado)
	70 - 80	7.5YR 4/4	Marrom médio (amarelado)
	80 - 90	2.5YR 3/6	Vermelho escuro moderado
	120 - 130	2.5YR 3/6	Vermelho escuro moderado

	180 - 190	2.5YR 3/6	Vermelho escuro moderado
P3E	0 - 10	7.5YR 3/4	Marrom escuro (avermelhado)
	10 - 20	5YR 3/4	Vermelho escuro amarronzado
	40 - 50	2.5YR 3/6	Vermelho escuro moderado
	50 - 60	2.5YR 3/6	Vermelho escuro moderado
	110 - 120	2.5YR 2.5/4	Vermelho muito escuro

Fonte: Autora

### 6.3.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO P3

#### Ponto 3 Murundu (P3M)

O pH do P3M variou de 4,70 a 5,34, com pequenas alterações nas camadas mais profundas (140-190 cm – PH 4,70), indicando forte acidez em todo o perfil (Tabela 4). O teor de ferro no perfil diminuiu com a profundidade, de 59,15 mg/dm<sup>3</sup> na camada 0-40 cm para 5,95 mg/dm<sup>3</sup> na camada mais profunda (140-190 cm). Esse padrão indica que os teores superficiais podem ser influenciados pela decomposição de minerais ferromagnesianos e pela presença de óxidos de ferro acumulados na superfície.

Tabela 4: Características químicas das amostras P3 em cima (topo) P3m e entre murundus (entre) P3e.

Composição Química																		
Profundidade	pH	K	Ca	Mg	SB	Al	H+Al	T	t	V	M	Fe	P rem.	P	C.O	C.O	MO	
	H2O	cmolc dm <sup>-3</sup>							%			mg dm <sup>-3</sup>		total		%	dag kg <sup>-1</sup>	
P3M 0-40	4,96	0,05	0,11	0,05	0,21	0,24	6,48	6,69	0,45	3	52,3	59,15	5,25	1846,7	2,31	1,35	2,33	
P3M 40-90	5,34	0,02	0,07	0,01	0,1	0,09	5,77	5,87	0,19	1	47,25	34,95	2,65	1683,4	3,03	1,79	3,1	
P3M 90-140	4,96	0,01	0,06	0,03	0,1	0,36	6,97	7,07	0,46	1	77,78	29,52	0,75	1486,9	3,06	0,59	1,03	
P3M 140-190	4,7	0,01	0,04	0,01	0,06	0,61	8,34	8,4	0,67	0	91,01	5,95	0,8	1267,4	4,25	0,73	1,26	
P3E 0-30	5,24	0,06	0,09	0,06	0,21	0,13	5,53	5,74	0,34	3	38,08	62,25	2,94	1656,7	3,41	2,08	3,59	
P3E 30-70	4,96	0,02	0,04	0,01	0,07	0,24	6,41	6,48	0,31	1	76,05	5,15	1,07	1158,4	1,73	0,7	1,21	
P3E 70-180	4,9	0,02	0,07	0,01	0,1	0,5	6,9	7	0,6	1	82,91	4,63	3,38	1110,7	1,97	0,66	1,15	

Observação: Os valores de fósforo total apresentados podem estar superestimados devido a possíveis inconsistências analíticas no processo laboratorial.

Fonte: Autora

Os valores de P rem foram muito baixos (0,75–5,25 mg/dm<sup>3</sup>), indicando uma alta fixação de fósforo no solo, comportamento esperado em solos argilosos com altos teores

de óxidos de ferro e alumínio, que adsorvem fortemente o fósforo disponível, reduzindo sua disponibilidade para as plantas (Novais et al., 2007).

A saturação por bases varia de apenas 1% (90-140 cm) a 3% (0-40 cm), confirmando mais uma vez um caráter distrófico do solo. Já o alumínio trocável apresenta teores moderados, variando de 0,09 a 0,61 cmolc/dm<sup>3</sup>, com maior concentração nas camadas mais profundas. A saturação por alumínio (m%) apresentou números elevados, atingindo até 91,01% (140-190 cm), indicando alta toxicidade para raízes menos adaptadas. Os valores de H+Al também aumentam com a profundidade, variando de 6,48 cmolc/dm<sup>3</sup> na camada superficial para 8,34 cmolc/dm<sup>3</sup> na camada mais profunda podendo ser ocasionado pelo acúmulo de íons ácidos.

A matéria orgânica variou de 2,33 dag/kg (superfície) a 1,26 dag/kg (140-190 cm), com diminuição acentuada em profundidade como esperado, uma vez que, o sistema radicular das plantas, principalmente as gramíneas diminui. A CTC efetiva apresentou-se baixa em todo o perfil, variando de 0,45 cmolc/dm<sup>3</sup> (superfície) a 0,67 cmolc/dm<sup>3</sup> (profundidade). A CTC total (pH 7,0) também é baixa, indicando baixa retenção de nutrientes, sendo habitual em solos altamente intemperizados e pobres em matéria orgânica.

O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (SiBCS, 2018). A transição textural entre os horizontes superficiais e subsuperficiais obtida pelos dados de argila, é característica dessa classe bem como a alta saturação por alumínio (m%) e baixa saturação por bases (v%).

### **Ponto 3 Entre Murundus (P3E)**

Na parte superficial do P3E (0-30 cm) o pH apresentou-se ligeiramente ácido 5,24, aumentando a acidez com a profundidade (30-70 cm e 70-180 cm): 4,96 a 4,90, os resultados de pH indicam alta indisponibilidade de nutrientes para as plantas uma vez que a faixa de absorção em solos de Cerrado está segundo Novais et al., 2007 entre 5,5 e 6,5.

O ferro exibiu teores elevados na camada superficial (62,25 mg/dm<sup>3</sup>), reduzindo-se em profundidade, indicando mais vez forte intemperismo químico, com maior concentração de óxidos de ferro no topo, sendo importante mencionar que este ponto apresenta uma extensa crosta laterítica em superfície.

O P. rem expos valores muito baixos em todas as camadas (2,94 a 3,38 mg/dm<sup>3</sup>), sugerindo alta fixação de fósforo pelo solo assim como os micronutrientes cálcios,

magnésio e potássio que também tiveram baixos teores assim como em P1 e P2. O V% se mostrou com baixa saturação por bases na superfície (38,08%) e redução em profundidade (até 1,15%), tal como a SB com 0,21 cmolc/dm<sup>3</sup> na superfície, diminuindo com a profundidade (até 0,09 cmolc/dm<sup>3</sup>) caracterizando-se por um solo distrófico.

A concentração de alumínio foi relativamente baixa na superfície (0,13 cmolc/dm<sup>3</sup>), mas aumentou em profundidade (0,50 cmolc/dm<sup>3</sup>) mostrando maior toxicidade por alumínio nas camadas mais profundas, como esperado em solos ácidos (Raij, et al, 2001).

A MO exibiu-se maior na camada superficial, com teor de (3,59 dag/kg) característico de solos sob vegetação natural de Cerrado (Melo et al., 2016) havendo uma diminuição acentuada da MO com a profundidade, 1,15 dag/kg na camada mais profunda. Assim como C.O que se reduz com a profundidade (3,41% na superfície para 0,66% em 70-180 cm), típico de solos sob vegetação natural.

O P3E (3,59 dag/kg) apresentou uma quantidade mais elevada de matéria orgânica superficial em comparação com o P3M (2,33 dag/kg na camada equivalente), possivelmente devido ao acúmulo de material vegetal na área plana entre os murundus, entretanto, no P3M, os valores de MO são mais elevados em profundidade, sugerindo maior influência de processos biológicos, como atividade de cupins, ou maior preservação de carbono em áreas protegidas no interior do murundu.

O carbono orgânico apesar do maior teor superficial no P3E, o P3M mantém uma melhor retenção de carbono em camadas subsuperficiais, o que pode estar relacionado à dinâmica de formação do murundu, que protege parcialmente a matéria orgânica contra decomposição acelerada.

O solo em P3E se classifica como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico devido alguns fatores como presença de horizonte Bt evidenciado pelo aumento de argila nas camadas inferiores, textura média a arenosa nas camadas superficiais e argilosa nas inferiores, baixa fertilidade natural e caráter distrófico (SiBCS, 2018). A presença do horizonte B textural é visualizada tanto em P3M como em P3E devido ao acúmulo de argila nas camadas inferiores e a predominância de cores 2.5YR (vermelho escuro).

### 6.3.5 Sistematização

O murundu apresentou maior proporção de materiais finos em relação ao entre murundus, com uma quantidade de argila 35 % maior. Os teores de areia no entre

murundus foram expressivamente mais elevados em relação ao murundu, com valores até 91,22 % maiores.

Além disso, no murundu foi constatado maior fertilidade, exibindo valores mais elevados de CTC total e efetiva, matéria orgânica, fósforo total e carbono orgânico. Isso sugere uma disponibilidade de nutrientes, indicando um acúmulo pontual. Esta maior concentração pode ser atribuída a presença das térmitas, as quais fixaram seus ninhos nos murundus.

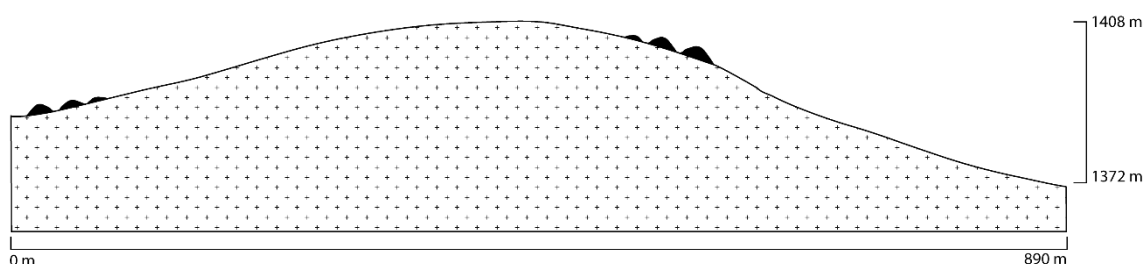
Em seus hábitos de vida, estes animais concentram materiais em suas colônias, concentrando de forma indireta diferentes elementos. Neste sentido, as térmitas podem estar prospectando materiais nos ambientes entre murundus, e os carregando até o interior do murundu, refletindo na dicotomia dos valores encontrados.

## 6.4 PONTO AMOSTRAL 4

### 6.4.1 Distribuição na Paisagem e Características Vegetativas

A vertente do ponto quatro possui extensão de 890 metros, abrangendo altitudes entre 1372 e 1408 metros. Ao longo de sua área, exibe variações na inclinação, apresentando topo plano e rampa com declividade média de total de 6,4%, sendo a inclinação máxima visualizada ao longo do seu terço médio (10%). Exibe presença dos campos de murundus ao longo de toda extensão, sendo encontrados no topo, terço médio e fundo de vale com predominância no terço médio (Figura 77).

Figura 77: Vertente ponto 4.



Fonte: Autora

Os morrotes de murundus caracterizaram-se por microfeições que variaram entre ovalados e arredondados com diâmetros médios de 6,1 x 4,9 metros, e alturas médias de 80 centímetros. No entanto, há uma variação nas dimensões, não havendo um padrão

definido. A densidade dos murundus ao longo da vertente foi estimada em aproximadamente 40 murundus por hectare (Figura 78).

Figura 78: Paisagem da área amostral ponto 4, presença de térmita consolidada e térmita desfeita por alguma ação local.



Fonte: Autora



A vegetação local caracteriza-se, predominantemente, por campo limpo, com gramíneas e herbáceas cobrindo a área. Não há presença de espécies arbóreas na maior parte do terreno, exceto na porção inferior da vertente, onde o fundo de vale abriga vegetação ripária adaptada, composta por arbustos que se beneficiam da maior umidade local (Figura 79), e em poucos murundus também observa-se a presença de arbustos.

Figura 79:(a) Vegetação ripária ao fundo do vale do ponto, seta preta (b) vegetação arbustiva avançando sobre o ninho de térmita.



Fonte: Autora

A área de murundus, especificamente, apresenta vegetação homogênea, dominada por gramíneas do gênero *Echinolaena ssp.*, que cobrem o topo dos morrotes e entre morrotes. Contudo, algumas mudanças na cobertura vegetal foram notadas, possivelmente causadas pela atividade da fauna local, principalmente de javalis, que resultaram em áreas de solo exposto devido à escavação (Figura 80). Este processo, em

conjunto com o escoamento superficial, evidenciou pequenas áreas com processo erosivo laminar.

Figura 80: Presença de erosão no campo de murundu ocasionada pela fauna e intensificada pela umidade, novembro de 2022.



Fonte: Autora

Observou-se também uma degradação considerável nos ninhos de térmitas, cuja estrutura física apresentou-se desgastada, indicando maior ação da fauna local na predação, como tamanduás (Figura 81). Esses processos de desgaste natural e intervenção faunística são importantes para a dinâmica dos murundus, que dependem de uma interação equilibrada entre a fauna e as condições ambientais locais. A degradação dos ninhos expôs seu interior, revelando a presença de ovos de cupins distribuídos nos espaços, além de cupins ativos, indicando que a colônia permanecia em atividade apesar dos danos.



Figura 81: Degradação nos ninhos locais (a/d) indicação de ninhos ativos com a presença de cupins e ovos de cupins nos ninhos (b/c) Representação ampliada da aparência dos ovos de cupins. (e/f)



Fonte: Org. Autora, 2024 (e, f) Google imagens.

A morfologia do terreno, com a presença de murundus ao longo da vertente, também influenciou diretamente a movimentação da água. Esses morrotes atuam como barreiras naturais que alteram o fluxo e distribuição da água ao longo da encosta, favorecendo a infiltração nas áreas planas e uma redistribuição da umidade para o terço inferior da vertente. Apesar de o solo não ter apresentado alagamento em períodos de maior pluviosidade, observou-se uma superfície brejosa, indicando que a concentração de água no solo é significativa.

Ao longo dos anos de pesquisa foi verificado que diferente de outras áreas, o local não foi acometido pela ação do fogo, fato que pode ser explicado pela maior umidade do solo, que foi averiguada em todas as visitas locais especialmente nos meses de alta pluviosidade.

#### 6.4.2 Matizes do solo

O solo apresentou variações de coloração que passaram de marrom e amarelo na superfície para tons avermelhados em profundidades (Quadro 9). Esta transição de cores reflete a composição mineralógica, onde há maior concentração de óxidos de ferro em camadas profundas, característica comum em solos lateríticos. Constatou-se também a presença de cascalhos entre 80 e 90 centímetros de profundidade, e uma camada de argila a 1 metro e 35 centímetros, o que influencia a retenção e a drenagem de água ao longo do perfil.

Quadro 9: Caracterização de cor do solo (Notação Munsell).

Perfil	Profundidade	Notação Munsell	Descrição
P4M	0 - 10	10YR 2/2	Marrom muito escuro (ligeiramente amarelado)
	80 - 90	7.5YR 4/4	Marrom médio (amarelado)
	130 - 140	10YR 7/4	Amarelo claro
	150 - 160	7.5YR 7/3	Bege claro
	160 - 170	2.5YR 6/4	Vermelho-claro moderado
P4E	0 - 10	10YR 4/2	Marrom claro
	10 - 20	2.5Y 5/4	Amarelo-claro moderado
	30 - 40	2.5Y 7/3	Amarelo bem claro
	40 - 50	5YR 6/3	Vermelho claro suave
	50 - 60	10R 4/4	Vermelho intenso moderado
	70 - 80	2.5YR 4/6	Vermelho escuro vibrante
	80 - 90	5YR 6/4	Vermelho-claro moderado

Fonte: Autora

Além disso, foram identificadas concreções e cangas em superfície, que são típicas em áreas com processos de laterização e endurecimento do solo, resultantes da concentração de ferro e sílica (Figura 82). Essas camadas endurecidas podem influenciar a capacidade de infiltração de água, dificultando a penetração de raízes e contribuindo para a formação dos murundus.

Figura 82: Presença de cangas lateríticas e concreções em toda a superfície do solo do ponto 4, onde (c) mostram alguns também alguns cascalhos soltos.



Fonte: Autora

#### 6.4.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO P4

O morrote de murundus apresentou altura de 50 centímetros, o qual exibiu textura mais argilosa quando comparado ao solo que sobrepõe, havendo o incremento de areias e silte em relação ao aumento da profundidade. Neste sentido foi classificado como argiloso (0-50 cm), franco-argiloso-arenosa (50-120 cm) e siltoso (120- 180cm) ( Figura 83) (Gráfico 13).

O incremento de areias e silte em profundidades é esperado em relação ao aumento da profundidade, visto que o solo tende a apresentar características mais voltadas ao material de origem. Contudo, nota-se uma divisão clara entre o morrote e o solo que sobrepõe, sendo um indício de uma eventual classificação dos materiais pela ação das térmitas.

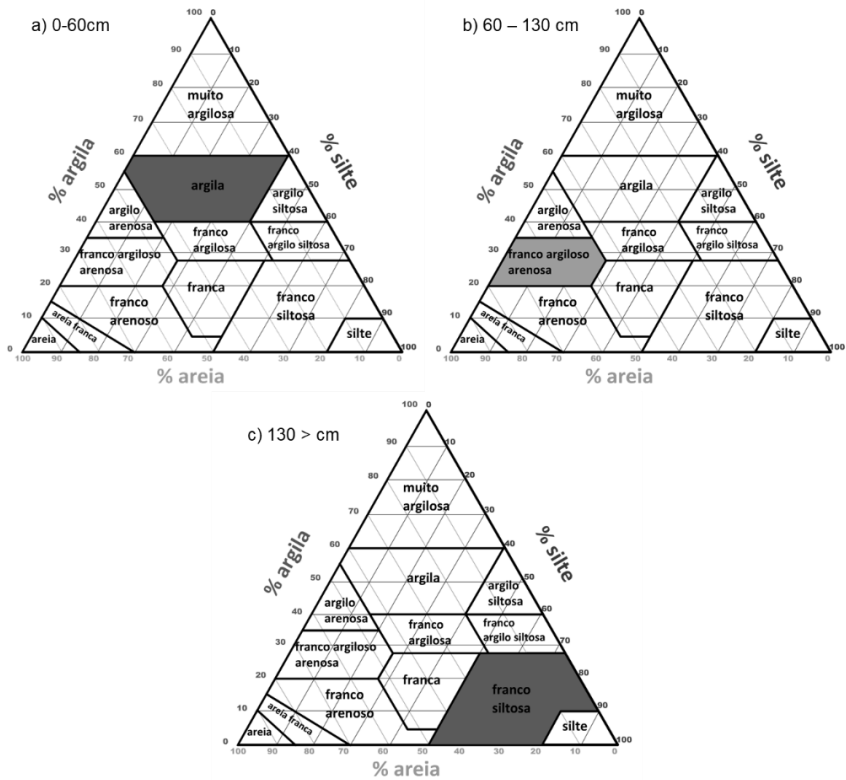


Gráfico 13: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 4 – Amostra coletada sobre murundus (P4M).



Fonte: Autora.

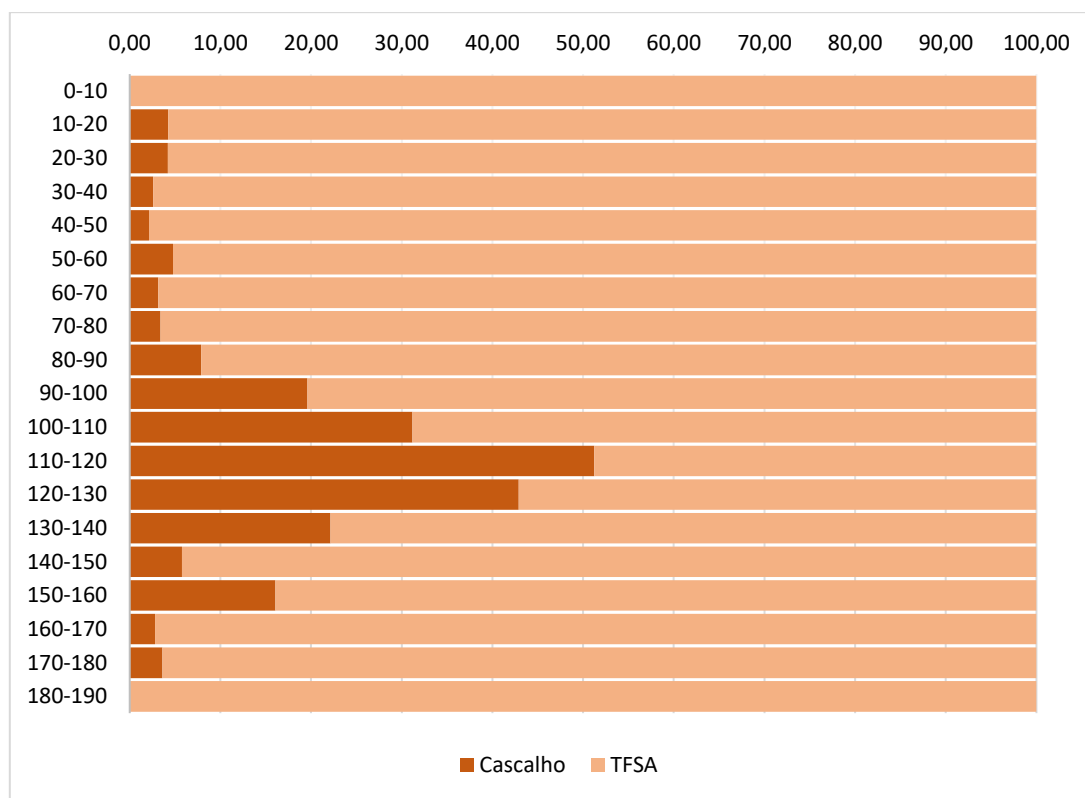
Figura 83: Triângulo textural P4M em diferentes profundidades.



Fonte: Autora.



Gráfico 14: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 4 sobre murundus (P4M).

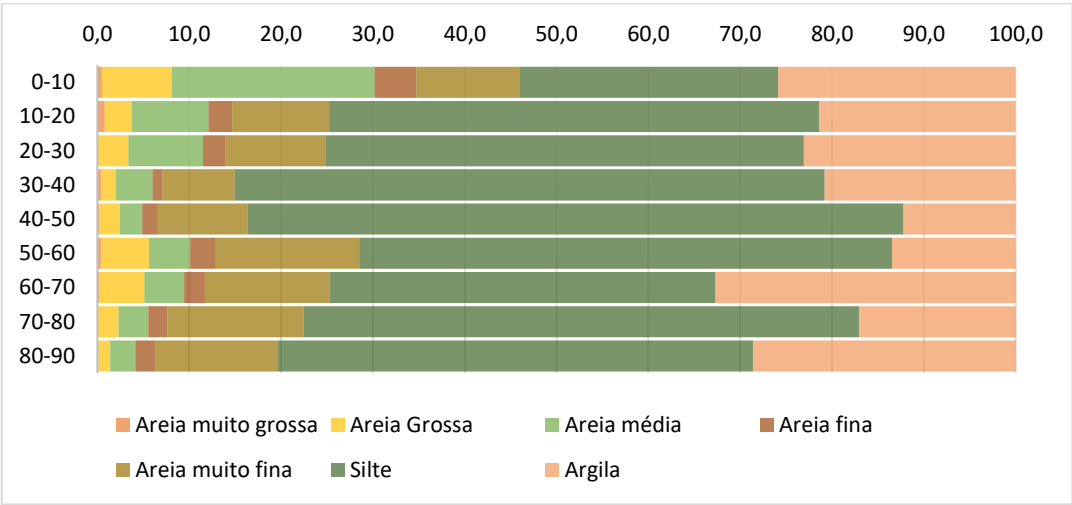


Fonte: Autora

O solo entre murundus apresentou textura diferenciada em relação ao solo do murundu. Sendo classificado como arenoso em sua camada mais superficial (0-30cm) e siltoso em profundidades (30-90 cm) (Gráfico 15, Figura 84). A pequena quantidade de argilas no espaço entre murundus corrobora com a tese de seleção de partículas.

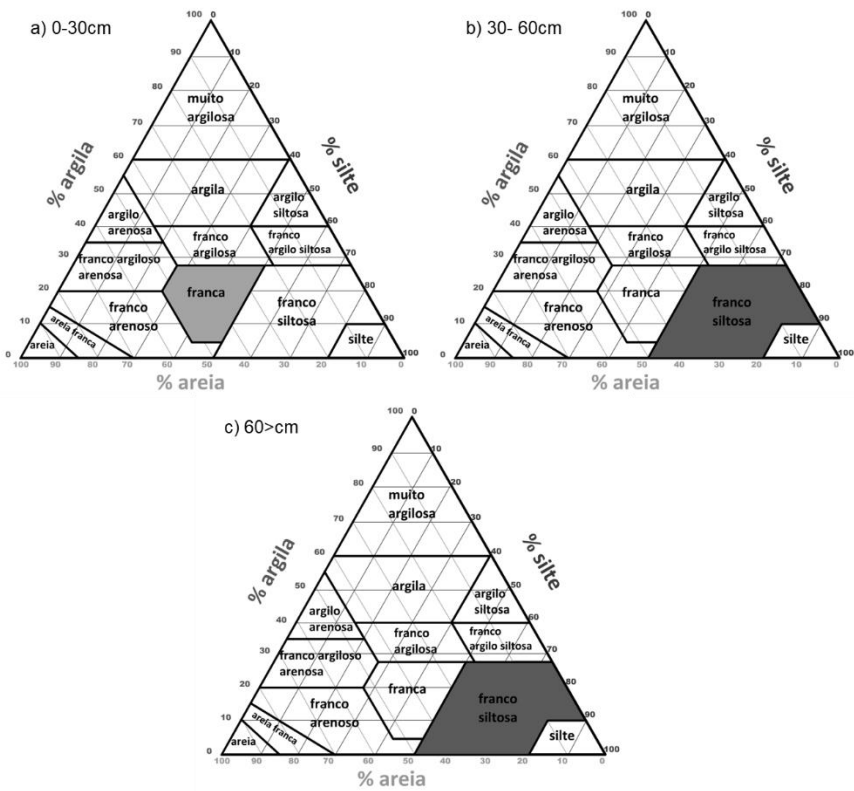
Em profundidade o solo exibiu uma camada de cascalhos densa (Gráfico 16), a ponto de se tornar impenetrável para remoção de amostras, devido a cimentação das partículas minerais pelo ferro. Esta camada atua como uma barreira no solo, reduzindo o movimento da água até profundidades, de modo a concentrá-la próxima a superfície, contribuindo para as condições elevadas de saturação do campo de murundus.

Gráfico 15: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 4E – Amostra coletada entre murundus.



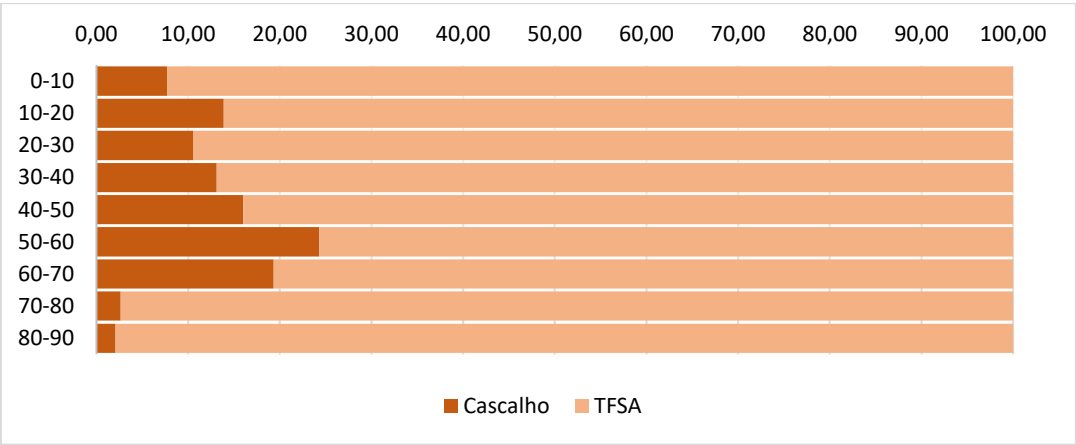
Fonte: Autora.

Figura 84: Triângulo textural P4E em diferentes profundidades.



Fonte: Autora.

Gráfico 16: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 4 entre murundus (P4E).



Fonte: Autora.

#### 6.4.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS P4

##### Ponto 4 Murundu (P4M)

O pH do solo do murundu variou entre 4,73 e 5,07, indicando uma acidez moderada a alta em todas as profundidades. Segundo Raij et al. (2001), solos com pH abaixo de 5,5 estão sujeitos à toxidez por alumínio e à baixa disponibilidade de nutrientes, especialmente cátions como Ca e Mg. A saturação por alumínio (m%) também é elevada, variando entre 55,87% e 89,91%, reforçando o caráter ácido e a presença significativa de  $Al^{3+}$  no complexo de troca (Tabela 5), fator limitante para o desenvolvimento radicular para plantas não adaptadas (Fageria e Baligar, 2008), indicando que a seleção vegetativa na área de murundus é resultante tanto de suas características hidrológicas como químicas.

Tabela 5: Características químicas das amostras P4 em cima (topo) P4m e entre murundus (entre) P4e.

Composição Química																	
Profundidade	pH	K	Ca	Mg	SB	Al	H+Al	T	t	V	M	Fe	P rem.	P	C.O	C.O	MO
	H2O	cmolc dm <sup>-3</sup>							%			mg dm <sup>-3</sup>		total		%	dag kg <sup>-1</sup>
P4M 0-60	4,75	0,03	0,08	0,05	0,16	0,62	5,53	5,69	0,78	2	78,89	90,98	14,4	1329,09	1,85	1,89	3,26
P4M 60-90	4,96	0,03	0,08	0,01	0,12	0,41	7,58	7,7	0,53	1	76,15	39,36	12,19	1116,6	1,88	1,29	2,24
P4M 90-130	5,07	0,05	0,1	0,02	0,17	0,22	6,48	6,65	0,39	2	55,87	42,89	16,92	1170,34	0,46	1,38	2,38
P4M 130-180	4,73	0,05	0,06	0,01	0,12	1,08	7,05	7,17	1,2	1	89,91	3,9	35,13	789,62	0,7	1,44	2,49
P4E 0-40	5,12	0,05	0,08	0,03	0,16	0,17	6,21	6,37	0,33	2	50,94	16,58	32,85	1279,68	1,56	0,73	1,26
P4E 40-90	4,64	0,03	0,07	0,02	0,12	0,98	6,83	6,95	1,1	1	88,41	6,47	30,14	2073,41	0,43	0,77	1,33

Observação: Os valores de fósforo total apresentados podem estar superestimados devido a possíveis inconsistências analíticas no processo laboratorial.

Fonte: Autora.

A CTC variou entre 5,53 e 7,7 cmolc dm<sup>-3</sup>, com valores mais altos observados em profundidades intermediárias (60-90 cm e 130-180 cm). A CTC efetiva é proporcional à soma de bases e Al<sup>3+</sup>, refletindo a baixa fertilidade química desse solo em razão do domínio de cargas negativas permanentes das argilas e matéria orgânica (Novais et al., 2007).

A porcentagem de MO decresce de forma sutil com a profundidade, variando entre 2,24% e 3,26% nas camadas superiores (0-60 cm) e estabilizando em 2,5% nas camadas profundas. Esses níveis indicam um aporte moderado de resíduos orgânicos. Os valores de P rem. variaram entre 35,13 e 90,98 mg dm<sup>-3</sup>, indicando alta capacidade de adsorção de fósforo, especialmente nas camadas superficiais. Esse comportamento está associado à presença de óxidos de ferro e alumínio no solo, que apresentam alta afinidade por fósforo, dificultando sua disponibilidade para as plantas.

O teor de ferro apresenta uma concentração alta na camada superficial (90,98 mg dm<sup>-3</sup>) e diminui significativamente com a profundidade, exibindo valores de 3,9 mg dm<sup>-3</sup> na camada mais profunda (130-180 cm). Isso sugere maior concentração de óxidos de ferro nas superfícies, podendo ser indicativo de exportação do ferro em zonas mais profundas, as quais são mais saturadas por água.

A baixa saturação de bases (V%) aliada a baixa soma de bases (SB) e a alta saturação de alumínio evidenciam a baixa fertilidade química do solo, confirmando características típicas de solos altamente intemperizados (Embrapa, 2018).

Considerando os teores de argila, o caráter distrófico e a baixa saturação por bases, o solo do P4M pode ser classificado como Latossolo distrófico conforme o SiBCS (Embrapa, 2018). A saturação por alumínio elevada e baixa saturação por bases (indicando acidez) são consistentes com solos altamente intemperizados.

#### **Ponto 4 Entre Murundus (P4E)**

Assim como em P4M que indicou solo ácido o pH de P4E variou de 5,12 (0-40 cm) para 4,64 (40-90 cm), indicando que o solo é ligeiramente ácido na camada superficial e mais ácido na camada subsuperficial. A saturação por bases com 2% na camada 0-40 cm e 1% na camada 40-90 cm se mostrou baixa, confirmando o caráter distrófico do solo.

Também com valores relativamente baixos a CTC variou de 6,37 cmolc/dm<sup>3</sup> (0-40 cm) a 6,95 cmolc/dm<sup>3</sup> (40-90 cm), característico de solos arenosos e/ou pobres em matéria orgânica (MELO et al., 2017). O valor de H+Al (6,21 a 6,83 cmolc/dm<sup>3</sup>) domina a CTC total, reforçando o caráter ácido do solo.

A saturação por alumínio aumenta significativamente com a profundidade: 50,94% (0-40 cm) para 88,41% (40-90 cm). Esse alto percentual reflete a dominância de Al<sup>3+</sup> em profundidade, um fator limitante para o desenvolvimento de raízes e a absorção de nutrientes em plantas sensíveis ao alumínio (Marschner, 2012).

O fósforo remanescente (P-rem) diminui de 32,85 mg/dm<sup>3</sup> (0-40 cm) para 30,14 mg/dm<sup>3</sup> (40-90 cm), indicando baixa capacidade de adsorção de P pelo solo, possivelmente devido ao baixo teor de argila de atividade alta. O fósforo total, entretanto, aumenta significativamente em profundidade, de 1279,68 mg/dm<sup>3</sup> para 2073,41 mg/dm<sup>3</sup>, o que pode ser atribuído a fatores geológicos, como presença de minerais primários contendo fósforo (Lopes e Guilherme, 2016).

A matéria orgânica foi baixa em ambas as camadas, com valores de 1,26 dag/kg (0-40 cm) e 1,33 dag/kg (40-90 cm). A manutenção de baixos teores de MO em solos sob condições tropicais é explicada pela alta taxa de mineralização da matéria orgânica devido à temperatura e umidade elevadas (Stevenson, 1994).

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos o P4E também pode ser classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo. A textura predominantemente arenosa (com variação para franco-arenosa nas camadas inferiores) indica um solo com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. A coloração variada, com transição de marrons a vermelhos mais intensos em profundidade, sugere a presença de óxidos de ferro em quantidade crescente e possíveis processos de laterização.

#### 6.4.5 Sistematização

O morrote de murundus apresentou maior quantidade de material fino em relação às áreas do entorno, principalmente da fração argila, sendo constatados valores de 109,3% maiores. As térmitas ao escavarem as áreas circundantes aos morrotes de murundu podem ter gerado a seleção dos materiais, removendo as partículas mais finas, principalmente de argilas, concentrando-as sobre os morrotes. Isto pode auxiliar na compreensão da expressiva variação textural encontrada em um curto espaço.

Com relação a parte química, os murundus apresentaram maior CTC total, matéria orgânica e carbono orgânico. O entre murundus, por sua vez, apresenta maiores valores de fósforo e CTC efetiva, sugerindo maior fertilidade imediata. A soma de bases (SB) é semelhante entre ambos.

## **6.5 PONTO AMOSTRAL 5**

### **6.5.1 Distribuição na Paisagem e Características Vegetativas**

A geocobertura da área estudada classificada segundo Nazar (2018) como materiais de bioturbação indiferenciados abrange uma vasta extensão da encosta, abrangendo uma porção que se inicia próxima ao fundo de vale até o terço médio, se encontrando na baixa vertente próximo a cachoeira Rasga Canga (Figura 85).



Figura 85: Paisagem ponto 5 setembro de 2023.

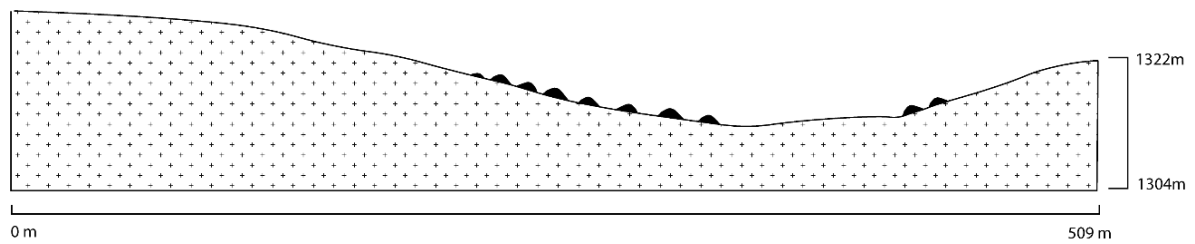


Fonte: Autora

A vertente analisada apresenta um desnível médio de 5%, com cotas altimétricas variando entre 1322 e 1304 metros ao longo de uma rampa de aproximadamente 500 metros (Figura 86). A declividade varia ao longo da encosta: o terço médio possui uma inclinação máxima de 10%, enquanto o topo exhibe uma declividade mais suave, de 3%, resultando em uma declividade média total de 5,4%.

O campo de murundus apresenta 28.040 m<sup>2</sup> de extensão, com morrotes exibindo alturas médias de 70 centímetros e diâmetros de 4,5 x 4,1 metros, com formas predominantemente arredondadas, exibindo 40 murundus/hectare (Figura 87).

Figura 86: Vertente ponto 5.



Fonte: Autora

Figura 87: Paisagem do campo de murundus.



Fonte: Autora.

A vegetação da área é composta, predominantemente, por gramíneas e herbáceas, com a presença ocasional de pequenos arbustos. Essas espécies vegetais foram encontradas tanto sobre os murundus quanto entre eles, bem como nas áreas circundantes ao ponto de observação.

A vegetação também se apresentou mais seca em comparação com outras áreas de campo limpo, mesmo durante períodos de alta pluviosidade, podendo ser indicativa de vários fatores ecológicos, como a composição do solo, capacidade de retenção da água,



exposição ao sol. Estas condições contribuíram para fornecimento de materiais queimados em um incêndio na região, o qual suprimiu toda vegetação (Figura 88).

Figura 88: Processo de finalização de termiteiros e início de murundu, fotos retiradas no mesmo local em diferentes meses (a) 2022 (b) 2023 após queima e chuva.



Fonte: Autora

Não foram observadas presença de erosão na área, apenas constatou-se ninhos de térmitas destruídos, evidenciando uma ação predatória. A coloração dos ninhos variou entre cinza e amarelo, já a coloração dos morrotes de murundus analisada através das interpretações das cores Munsell demonstrou tanto no topo dos murundus como no entre murundus coloração semelhante.

A diferenciação de cores entre o solo local, predominantemente avermelhado, e as diferentes tonalidades observadas nos ninhos, como cinza e amarelo, evidencia a atividade das colônias de cupins em diferentes profundidades do solo (Quadro 10). Essa variação de cores indica o processo realizado pelos cupins de transportar solo de locais mais distantes para a construção dos ninhos, já que as tonalidades encontradas não



correspondem ao solo imediatamente ao redor (Figura 89). Esse comportamento indica a capacidade dos cupins de alterar o ambiente local, promovendo a redistribuição de partículas de solo e contribuindo para a formação de micro-habitats com características distintas.

Figura 89: (A) Processo de formação dos montículos de murundus com a presença de ninhos antigos degradados em cores mais alaranjadas e formação recente de novos ninhos ativos indicado pela caneta azul (B) Ninho recente em formação, destacado por pontilhados vermelhos, e ninho antigo, agora integrado ao microrrelevo do murundu, marcado em amarelo.



Fonte: Autora

Quadro 10: Caracterização de cor do solo (Notação Munsell).

Perfil	Profundidade (cm)	Notação Munsell	Descrição
<b>P5M</b>	0 - 10	7.5YR 3/3	Marrom escuro
	10 - 20	7.5YR 3/4	Marrom escuro com leve tom avermelhado
	90 - 100	5YR 3/4	Vermelho escuro moderado
	140 - 150	2.5YR 4/8	Vermelho intenso
<b>P5E</b>	0 - 10	10YR 3/3	Marrom escuro
	10 - 20	7.5YR 2.5/3	Marrom muito escuro com tom avermelhado
	20 - 30	7.5YR 5/6	Marrom-avermelhado
	30 - 40	7.5YR 6/6	Marrom claro avermelhado
	40 - 50	5YR 6/8	Vermelho claro vibrante
	50 - 60	2.5YR 4/8	Vermelho intenso

Fonte: Autora.

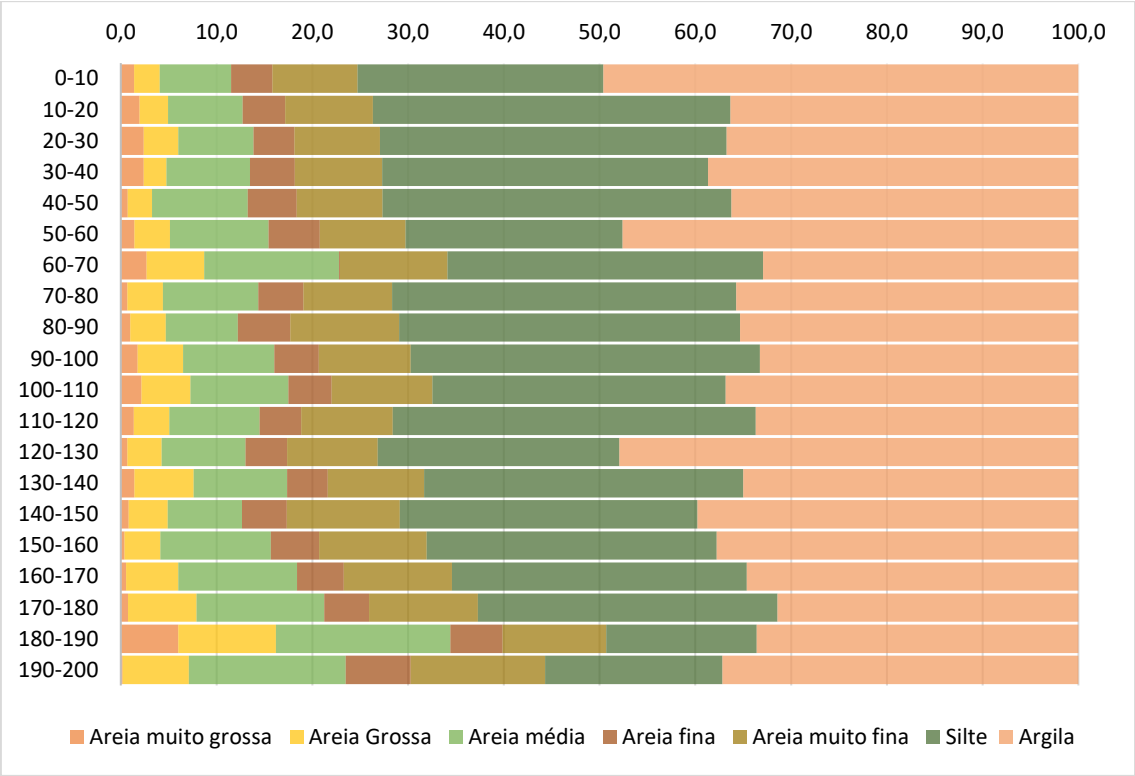
Em ambos os perfis, observa-se uma transição da coloração escura nas camadas mais superficiais para tons mais claros ou saturados em profundidades intermediárias e profundas. No entanto, o P5M mostra as camadas mais profundas com predomínio de tons escuros e vermelhos intensos, já P5E apresenta maior detalhamento de camadas superficiais e intermediárias, com transições mais nítidas para tons mais claros e saturados.

### 6.5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO P5

O morrote de murundu apresentou altura de 60 centímetros, entretanto, não foi constatado variações texturais entre o morrote e o solo no qual sobrepõe (Gráfico 17). A granulometria evidenciou o predomínio de frações finas, principalmente de argila e silte, sendo enquadrado como solo Argiloso (Figura 90).

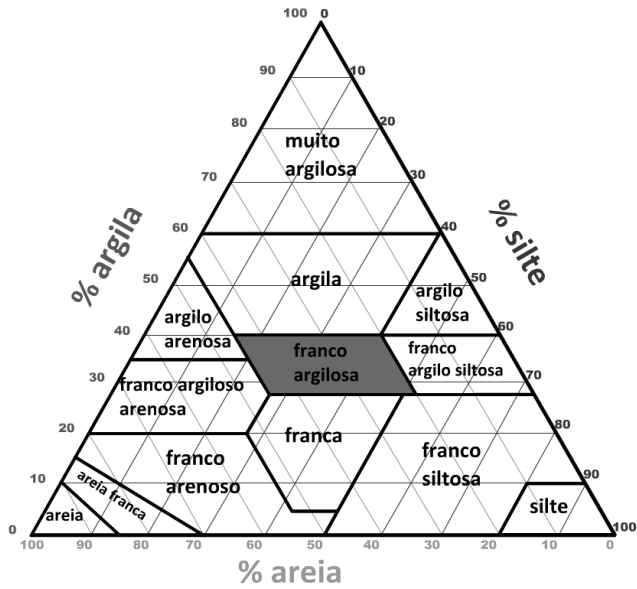
Uma camada de cascalhos lateríticos foi encontrada em profundidade (100 centímetros), a qual exibiu espessura de 20 centímetros, podendo este horizonte dificultar as taxas infiltradas, de modo a contribuir para formação de zonas saturadas de água em camadas mais próximas à superfície (Gráfico 18).

Gráfico 17: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 5 – Amostra coletada sobre murundus (P5M).



Fonte: Autora.

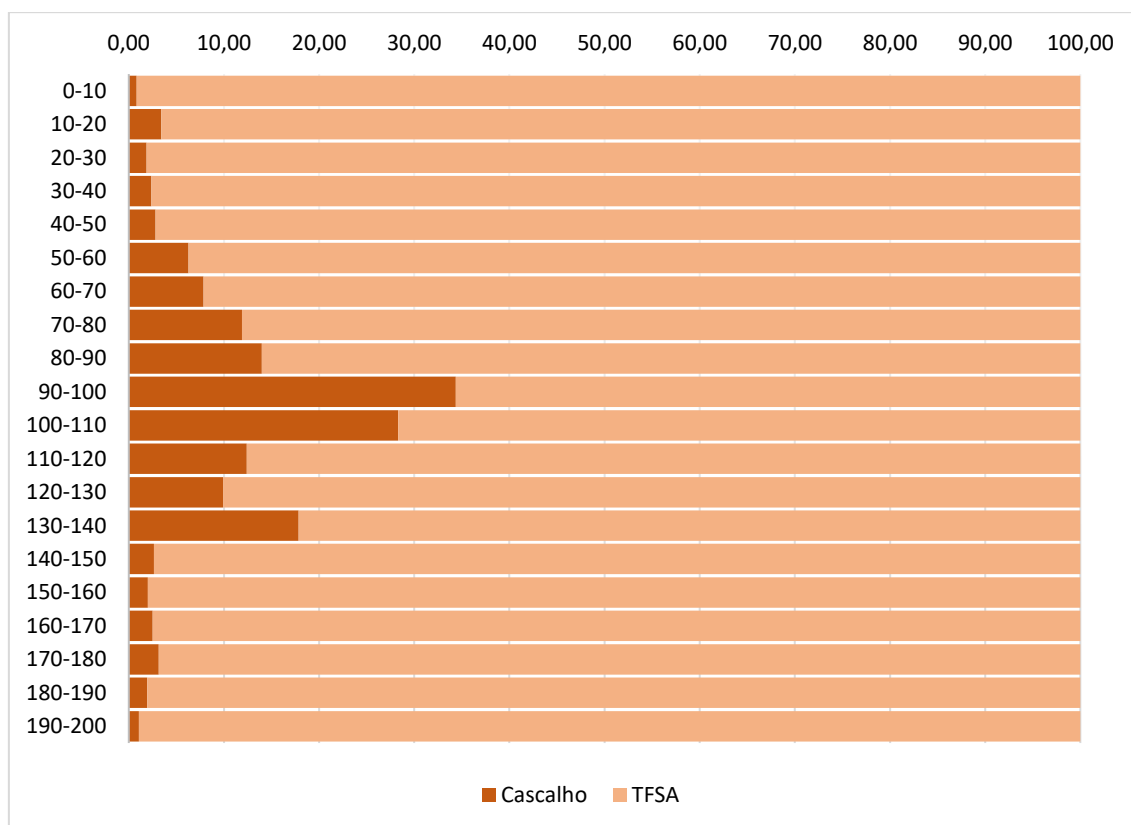
Figura 90: Triângulo textural P5M em diferentes profundidades.



Fonte: Autora.



Gráfico 18: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 5 sobre murundus (P5M).



Fonte: Autora.

No entre murundus o solo também se apresentou argiloso (Figura 91), entretanto, em camadas mais superficiais (0-20 cm) nota-se uma maior heterogeneização dos materiais, havendo maiores concentrações de materiais mais grosseiros em relação às demais profundidades do solo (Gráfico 19;Gráfico 20).

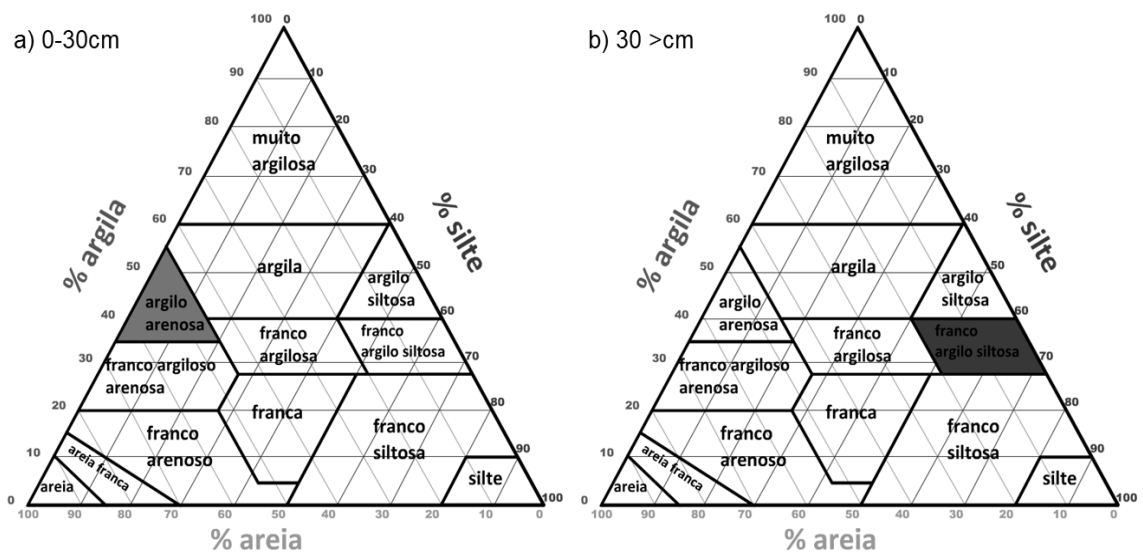
Constatou-se para este horizonte uma camada de cascalhos, sendo caracterizados por concreções lateríticas arredondadas, com diâmetros médios de 3 mm, dispostas as quais constituem parte relevante da constituição total do solo, havendo picos de 50 % na profundidade de 20 cm.

Gráfico de barras empilhadas mostrando a distribuição percentual das frações granulométricas para nove classes etárias. O eixo horizontal representa a porcentagem (0,0 a 100,0). O eixo vertical representa as classes etárias. A legenda indica as seguintes frações:

- Areia muito grossa (laranja claro)
- Areia Grossa (amarelo)
- Areia média (verde claro)
- Areia fina (marrom)
- Areia muito fina (verde escuro)
- Silte (verde escuro)
- Argila (laranja claro)

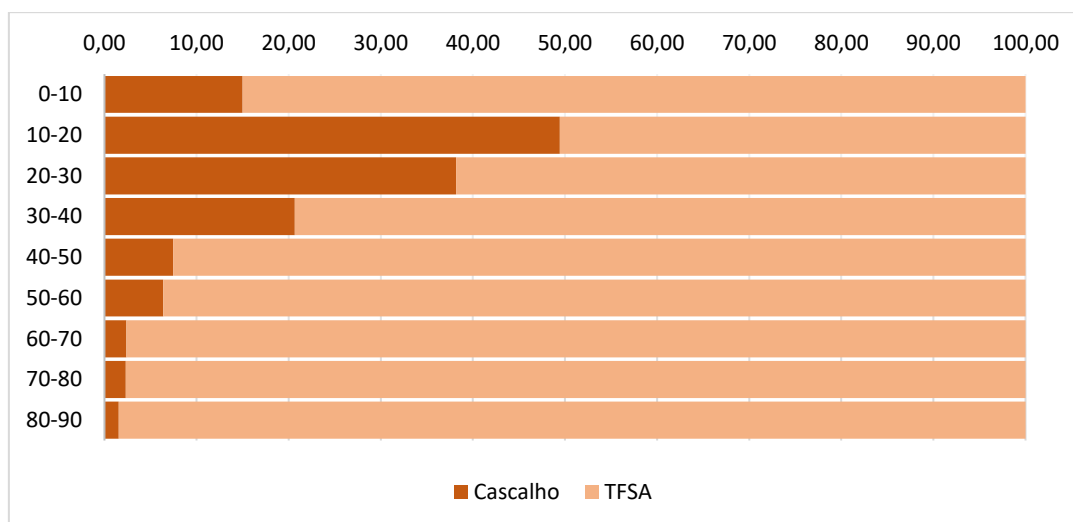
Observações: A fração de Argila é a mais predominante em todas as classes etárias, variando entre aproximadamente 20% e 40%. A fração de Silte também é significativa, especialmente nas classes etárias mais jovens (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90). A fração de Areia Grossa é mais presente nas classes etárias mais jovens (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90). A fração de Areia média é mais presente nas classes etárias mais jovens (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90). A fração de Areia muito grossa é a menos predominante em todas as classes etárias.

Figura 91: Triângulo textural P5E em diferentes profundidades.



192

Gráfico 20: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 5 entre murundus (P5E).



Fonte: Autora.

### 6.5.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS P5

#### Ponto 5 Murundu (P5M)

O pH varia de 4,75 a 4,98, indicando um solo ácido devido ao intenso intemperismo e lixiviação de cátions básicos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ) (Fageria et al., 2011). A acidez elevada favorece a solubilização do alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ), como evidenciado pelos altos valores de saturação por alumínio (64,53% a 85,07%) (Tabela 6).

Tabela 6: Características químicas das amostras P5 em cima (topo) P5m e entre murundus (entre) P5e.

Composição Química																	
Profundidade	pH	K	Ca	Mg	SB	Al	H+Al	T	t	V	M	Fe	P rem.	P	C.O	C.O	MO
	H2O	cmolc dm <sup>-3</sup>							%			mg dm <sup>-3</sup>		total		%	dag kg <sup>-1</sup>
P5M 0-20	4,98	0,08	0,08	0,02	0,18	1,08	7,05	7,23	1,26	2	85,07	115,4	9,42	1416,81	1,1	2,06	3,56
P5M 20-70	4,75	0,07	0,2	0,1	0,37	0,77	6,21	6,58	1,14	5	67,44	43,46	7,34	1335,3	2,74	1,24	2,15
P5M 70-140	4,92	0,03	0,07	0,04	0,14	0,27	6,69	6,83	0,41	2	64,53	21,04	4,05	993,51	1,91	0,81	1,41
P5M 140-200	4,9	0,03	0,07	0,01	0,11	0,36	7,51	7,62	0,47	1	75,66	10,56	9,46	828,59	1,96	0,76	1,32
P5E 0-20	4,7	0,07	0,09	0,02	0,18	0,64	8,08	8,26	0,82	2	77,17	96,5	15,28	1236,86	1,87	1,78	3,08
P5E 30-60	4,9	0,07	0,33	0,08	0,48	0,54	7,12	7,6	1,02	6	52,85	23,45	15,06	993,51	1,11	1,06	1,84
P5E 60-90	5,06	0,06	0,5	0,02	0,58	0,5	6,9	7,48	1,08	7	46,12	4,64	13,72	834,18	0,39	0,73	1,26

Observação: Os valores de fósforo total apresentados podem estar superestimados devido a possíveis inconsistências analíticas no processo laboratorial.

Fonte: Autora

A CTC a pH 7,0 varia de 6,21 a 7,62 cmolc/dm<sup>3</sup>, indicando um solo de média a baixa capacidade de retenção de nutrientes (Novais et al., 2007). A saturação por bases assim como os demais pontos é extremamente baixa (1% a 5%), revelando um solo pobre em cátions essenciais, recorrente em solos distróficos (Quesada et al., 2010).

O fósforo total varia de 828,59 a 1416,81 mg/dm<sup>3</sup>, enquanto o P rem está entre 4,05 e 9,46 mg/dm<sup>3</sup>. Estes valores indicam baixa disponibilidade de fósforo para as plantas, possivelmente devido à fixação em óxidos de ferro e alumínio, observados também em outros estudos como Lopes e Cox (1979); Novais e Smyth (1999) e Santos, (2022).

Os valores de Fe variam significativamente (10,56 a 115,42 mg/dm<sup>3</sup>), com maiores teores nas camadas superficiais. Este fator está diretamente relacionado à coloração do solo, que apresenta tons avermelhados e amarelados, típicos de solos ricos em óxidos de ferro, como hematita e goethita (Schwertmann, 1985).

Os teores de matéria orgânica (MO) variam de 1,32% a 3,56%, enquanto o carbono orgânico (C.O.) apresenta valores entre 0,76% e 2,06%. Esses níveis indicam um solo com baixo acúmulo de matéria orgânica, possivelmente devido à rápida decomposição promovida pelas condições climáticas tropicais. Em ambientes tropicais, a elevada temperatura e umidade aceleram a decomposição da matéria orgânica, resultando em menores teores de MO no solo. Além disso, a mineralogia do solo, especialmente a presença de óxidos de ferro e alumínio, pode influenciar na dinâmica da matéria orgânica, afetando sua estabilidade e disponibilidade. Estudos como o de Scott et al. (1996) e Zech et al. (1997) destacam que fatores como estrutura, umidade do solo, manejo, clima e mineralogia são determinantes nos teores de matéria orgânica em regiões tropicais

O solo P5M apresenta teores elevados de argila (acima de 350 g/kg em quase todos os horizontes), com uma distribuição de textura relativamente homogênea, segundo o SiBCS, o solo classifica-se como Latossolo Vermelho Distrófico típico, devido sua profundidade elevada, cores e baixa fertilidade natural.

#### **Ponto Entre Murundus (P5E)**

O pH do perfil P5E apresenta valores ligeiramente mais altos (4,90 a 5,06) em comparação ao perfil P5M, que variava entre 4,75 e 4,98. Esse pequeno aumento na alcalinidade sugere menor lixiviação de bases ou uma maior capacidade de tamponamento devido à presença de argilas menos intemperizadas (Fageria et al., 2011).

No entanto, os valores ainda indicam um solo ácido, característico de ambientes tropicais fortemente intemperizados.

Os valores da CTC a pH 7,0 são relativamente constantes entre os dois perfis, variando de 6,9 a 7,12 cmolc/dm<sup>3</sup> no P5E. Isso indica que o solo mantém uma capacidade mediana de retenção de nutrientes, sendo fortemente dependente da matéria orgânica e das frações argilosas para sustentação da fertilidade (Novais et al., 2007).

A saturação por bases (v%), apesar de ligeiramente superior ao P5M, ainda é muito baixa (6% a 7%), confirmando um solo distrófico, com baixa disponibilidade de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas (Quesada et al., 2010).

A saturação por alumínio (m%) diminuiu em relação ao P5M (46,12% a 52,85%), sugerindo um ambiente ligeiramente menos tóxico para o desenvolvimento radicular. Ainda assim, a presença de altos teores de Al<sup>3+</sup> (0,50 a 0,54 cmolc/dm<sup>3</sup>) pode restringir a absorção de nutrientes, especialmente Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, além de afetar a elongação radicular (Kochian et al., 2015).

O fósforo total (834,18 a 993,51 mg/dm<sup>3</sup>) é ligeiramente menor que no P5M. No entanto, o P rem (4,64 a 15,06 mg/dm<sup>3</sup>) apresenta valores mais altos, o que pode indicar uma menor fixação do fósforo nos complexos de alumínio e ferro. Esse dado sugere uma leve melhoria na disponibilidade do fósforo P5E em relação ao P5M.

Os teores de ferro variam de 4,64 a 23,45 mg/dm<sup>3</sup>, sendo significativamente menores que no P5M (10,56 a 115,42 mg/dm<sup>3</sup>). Essa diferença pode estar relacionada à menor presença de óxidos de ferro na matriz do solo, o que pode refletir na coloração menos avermelhada em relação ao P5M.

A matéria orgânica (MO) e o carbono orgânico (C.O.) apresentam valores menores do que no P5M, com MO variando de 1,26% a 1,84% e C.O. de 0,39% a 1,11%. Esse resultado indica um solo pobre em matéria orgânica, com baixo acúmulo e intensa decomposição, característico de regiões tropicais de clima quente e úmido (Neill et al., 1997).

Visto isso, P5E classifica-se de acordo com SiBCS como Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico pois a presença de argila em níveis moderados a altos (156 g/kg a 391 g/kg) sugere que o solo já sofreu algum grau de pedogênese, mas sem atingir o nível de intemperismo dos Latossolos, fertilidade natural baixa, conforme os dados químicos anteriores, reforçando a classificação como distrófico e cores típicas de Cambissolo.

A diferença entre os dois perfis reforça a hipótese de que o P5M, localizado no murundu, apresenta um solo mais evoluído e homogêneo, típico de Latossolos, enquanto

o P5E, coletado ao lado do murundu, possui características de um solo menos intemperizado, com maior presença de cascalho e variação textural, indicando um Cambissolo.

#### **6.5.4 Sistematização**

Os resultados encontrados demonstraram que diferente do solo do entre murundus, o solo do murundu apresentou características físicas mais homogêneas, com baixa variação textural ao longo do perfil. Isto indica que o material pode ter sido retrabalhado e homogeneizado, através da movimentação das partículas pelos organismos edáficos. Além disso, os murundus possuem 21,7% mais argila quando comparado ao entre murundus, indicando um retrabalhamento seletivo por parte dos animais.

Cupins e formigas têm um papel significativo na bioturbação, transportando partículas de solo e influenciando a distribuição granulométrica. A maior quantidade de areia no P5E pode ser um indício de atividade biogénica, uma vez que tais organismos frequentemente removem frações mais finas do solo para a construção de seus ninhos, deixando para trás um solo relativamente mais arenoso.

Além disso, os murundus têm maiores valores de matéria orgânica, carbono orgânico, ferro, alumínio, fósforo total e CTC (total e efetiva) quando comparado ao entre murundus. A ação das térmitas pode promover alterações químicas nos solos, estando associadas à decomposição da matéria orgânica e ao ciclo de nutrientes promovido por esses insetos. Os cupins alteram a composição do solo ao concentrar certos elementos químicos em suas estruturas e ao modificar o pH, o que poderia justificar as diferenças detectadas entre os perfis.

### **6.6 PONTO AMOSTRAL 6**

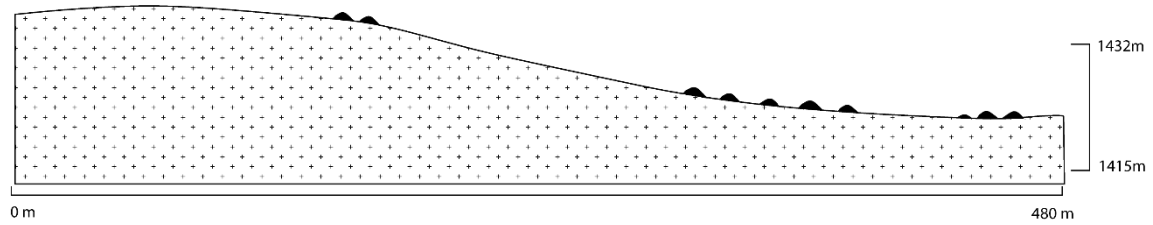
#### **6.6.1 Distribuição na Paisagem e Características Vegetativas**

A vertente em estudo do ponto 6 possui uma extensão aproximada de 480 metros, situando-se entre as cotas altimétricas de 1432 a 1415 metros de altitude. Essa variação altimétrica resulta em um desnível de 17% entre o topo e o fundo do vale, com uma declividade média de 3,5% (Figura 92). Ao longo dessa extensão, observa-se a dispersão



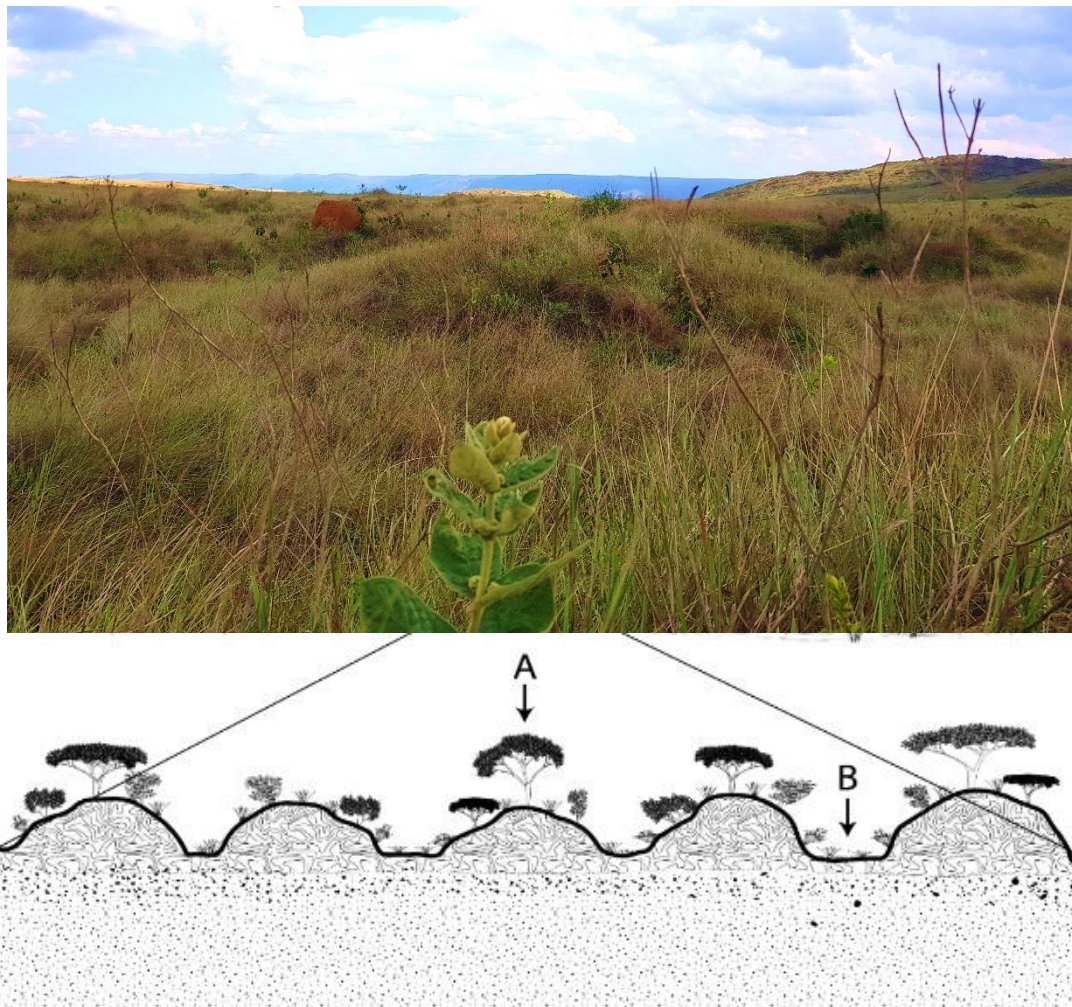
do microrrelevo de murundus, especialmente no terço médio e no fundo do vale, que correspondem à área amostral localizada nesta última região (Figura 93).

Figura 92: Vertente ponto 6.



Fonte: Autora.

Figura 93: Paisagem geral ponto 6 com representação esquemática novembro de 2022, ao fundo presença de escarpa.



Fonte: Confessor et al, 2025

A vegetação predominante na área é caracterizada como campo limpo, com uma diversidade de gramíneas e herbáceas. Dentre as espécies de destaque, encontra-se a "sempre-viva" (*Eternity*), pertencente à família Asteraceae, conhecida por sua notável resistência e capacidade de florescer em condições adversas (Rizzini, 1997). Essa vegetação é adaptada às particularidades do bioma, incluindo solos pobres e regimes de fogo frequentes (Figura 94).

Figura 94: Vegetação de “sempre-viva” após queima em setembro de 2023.

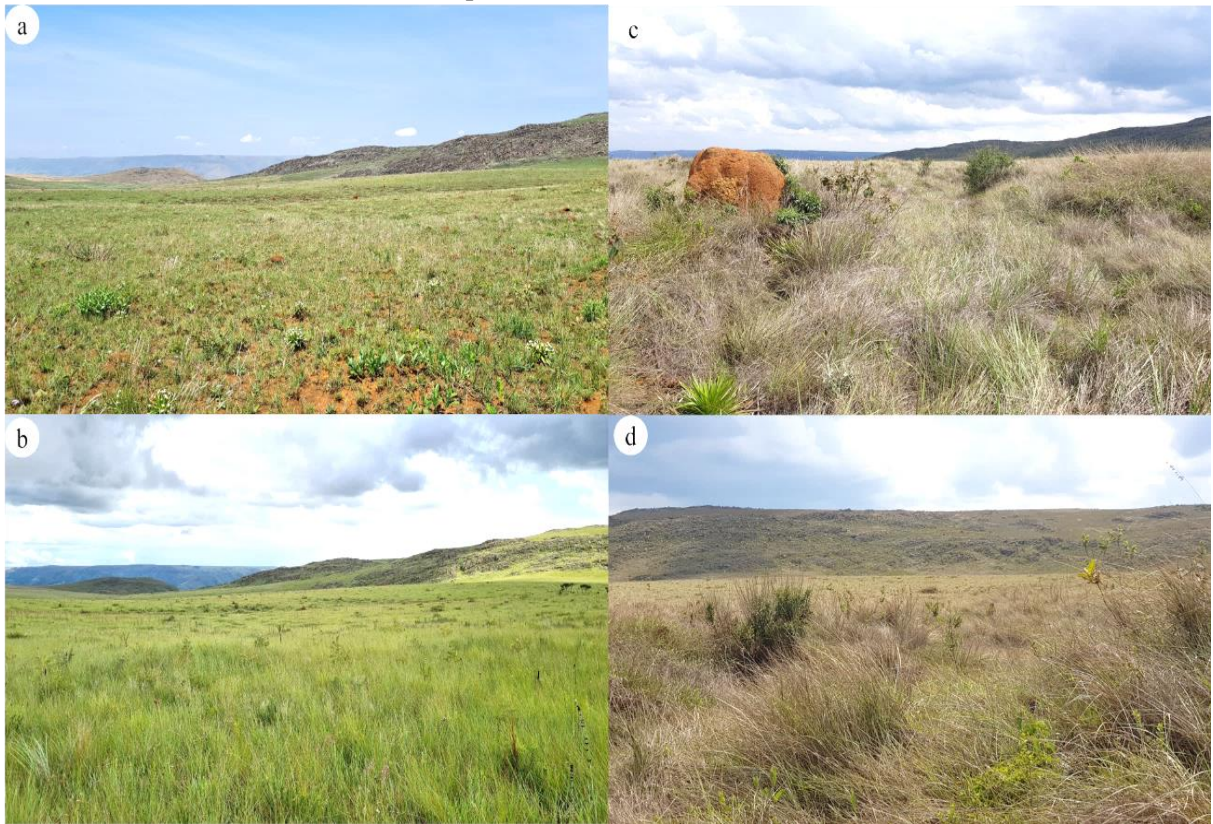


Fonte: Autora.

A área em estudo foi atingida por uma queimada no período seco, o que provocou uma transformação significativa na cobertura vegetal. Após o evento, observou-se que a presença de arbustos foi praticamente inexistente. Esse impacto inicial é comum em ecossistemas de savanas, onde as queimadas removem rapidamente a biomassa aérea, mas, ao mesmo tempo, estimulam o rebrotamento de algumas espécies adaptadas ao fogo (Coutinho, 1980;2006) (Figura 95).



Figura 95: Diferentes características vegetativas locais advindas das condições ambientais (a/b) mesmo ângulo da fotografia em meses diferentes (a) setembro 2023 após incidência do fogo (b) fevereiro de 2024 vegetação se recompondo. (c/d) junho de 2023 poucos meses antes da queimada no local.



Fonte: Autora.

No entanto, a recuperação da vegetação apresentou um padrão de resiliência característico. Um ano após a queimada, registrou-se o retorno gradual de arbustos e uma maior diversidade de herbáceas, indicando a regeneração do ecossistema. Após quatro anos, plantas em estágios avançados de crescimento já eram visíveis, demonstrando a capacidade de resiliência e adaptação da flora local em resposta às perturbações naturais (Miranda et al., 2002).

A vegetação circundante ao ponto de coleta é distinta em relação a outros locais, apresentando campo rupestre na parte alta e um campo limpo na parte inferior, que se aproxima do campo de murundus. A variação sazonal ao longo do ano também influenciou as características da vegetação, sendo notável o aumento do vigor vegetativo durante os meses chuvosos, quando as plantas exibiram estruturas foliares verdes (Figura 96). Em contrapartida, no período entre chuvas, observou-se uma diminuição do vigor vegetativo, com folhas secas.

Figura 96:Vegetação recomposta em fevereiro de 2024 após queimada no ano anterior, vegetação apresentando arbustos em crescimento.



Fonte: Autora

Não foram observados sinais de erosão na área monitorada, nem a presença de água superficial em nenhum dos meses de acompanhamento. No entanto, durante as coletas realizadas a uma profundidade de 1 metro entre os murundus, foram notadas algumas concreções e umidade, com predominância de partículas de 2 mm. Nos murundus, por sua vez, observou-se a presença de concreções maiores e cascalhos de até 2 cm, indicando diferenças significativas na composição do solo entre essas microfeições. Esses padrões podem estar associados à dinâmica de deposição e transporte de partículas, influenciada por fatores biológicos, como a atividade dos cupins (Jouquet et al., 2016).

Foram constatados a presença de termiteiros ao longo de todo o campo de murundus, os quais exibiram estruturas altas e bem formadas. Alguns estavam localizados



diretamente sobre os murundus, enquanto os maiores foram encontrados em áreas entre murundus.

Os murundus observados exibiram microfeições de relevo com formas arredondadas, apresentando alturas médias de 0,66 cm e diâmetros médios de 6,10 x 7,10 metros. Essa configuração resultou em uma densidade de distribuição de 111 murundus por hectare, um valor que se alinha ao padrão esperado para áreas similares (Castro et al., 2020).

A coloração dos termiteiros variou entre laranja-amarelo e vermelho, o que pode refletir diferenças nos materiais coletados pelos cupins para a construção, bem como nas características químicas e físicas do solo (Lee & Wood, 1971). Nos horizontes superficiais (0-10 cm), a coloração 10YR 2/2 (marrom muito escuro) (Quadro 11), presente em ambos os perfis, está relacionada à alta concentração de matéria orgânica, que se refere a intensa atividade biológica característica dos murundus, que atuam como ilhas de fertilidade no Cerrado, acumulando resíduos vegetais e nutrientes em suas elevações.

À medida que a profundidade aumentava, observou-se a transição para tons mais claros e avermelhados, como o 10YR 3/4 e o 7.5YR 3/4. Esses tons indicam a diminuição da matéria orgânica e o aumento da concentração de minerais, especialmente óxidos de ferro, típicos de solos bem drenados, comuns nessas áreas de murundus, onde o movimento de água favorece a oxidação de ferro, resultando em cores mais intensas.

Quadro 11: Caracterização de cor do solo (Notação Munsell).

Perfil	Profundidade (cm)	Notação Munsell	Descrição
<b>P6M</b>	0 - 10	10YR 2/2	Marrom muito escuro
	20 - 30	10YR 3/3	Marrom escuro
	100 - 110	10YR 3/4	Marrom médio
	130 - 140	7.5YR 3/4	Marrom escuro com tom avermelhado
	140 - 150	5YR 4/6	Vermelho moderado
	190 - 200	2.5YR 3/6	Vermelho escuro vibrante
<b>P6E</b>	0 - 10	10YR 2/2	Marrom muito escuro
	30 - 40	10YR 3/4	Marrom médio
	40 - 50	7.5YR 4/4	Marrom claro com leve tom avermelhado
	60 - 70	2.5YR 3/6	Vermelho escuro vibrante

	220 - 230	2.5YR 3/6	Vermelho escuro vibrante
--	-----------	-----------	--------------------------

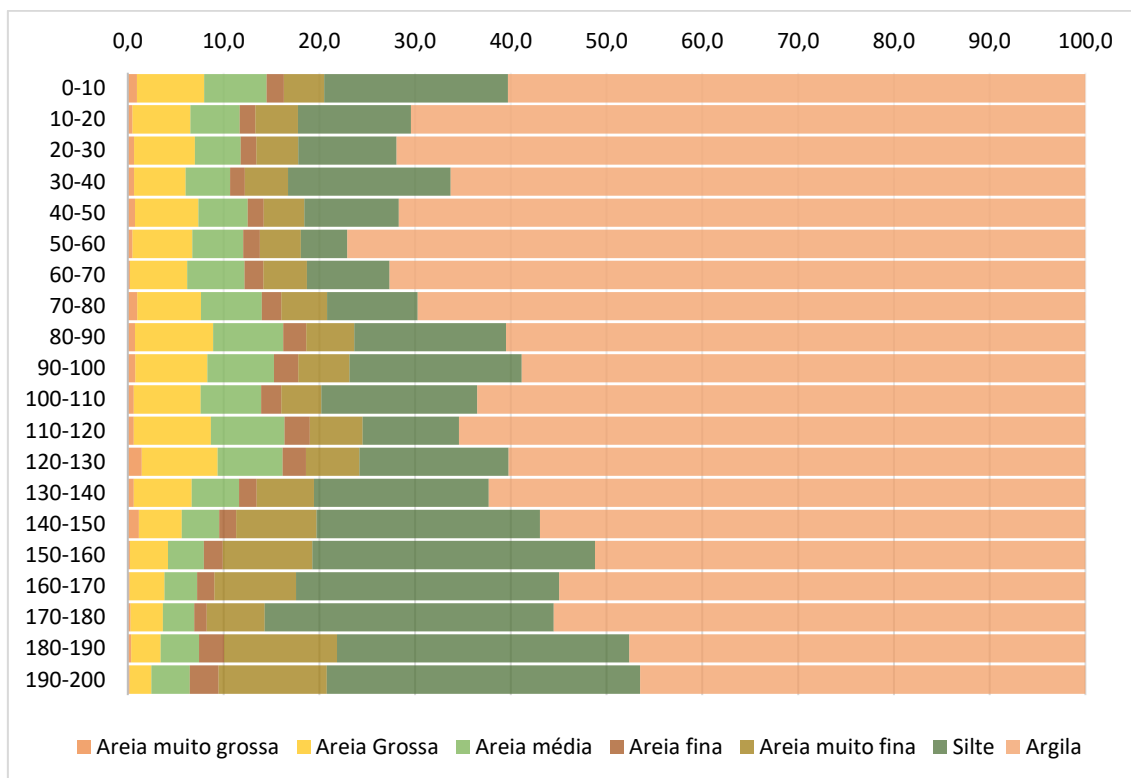
Fonte: Autora.

### 6.6.2 CARACTERÍSTICAS DO FÍSICAS DO SOLO P6

O solo do murundu não apresentou grandes variações, demonstrando-se homogêneo, principalmente em profundidades menores (Gráfico 21, Gráfico 22). Exibiu altas concentrações de materiais de textura fina, principalmente da fração argila, sendo classificado como textura argilosa em todas as profundidades (Figura 97).

Essa diferenciação de materiais pode estar relacionada a processos pedogenéticos, mas também pode indicar a ocorrência de ações seletivas. As térmitas, em seus hábitos de vida, promovem o retrabalhamento do solo ao escavar túneis e galerias, removendo partículas e depositando-as em locais específicos de acúmulo. Esse processo pode resultar na seleção dos materiais, uma vez que partículas de determinados tamanhos podem exceder a capacidade de transporte desses insetos.

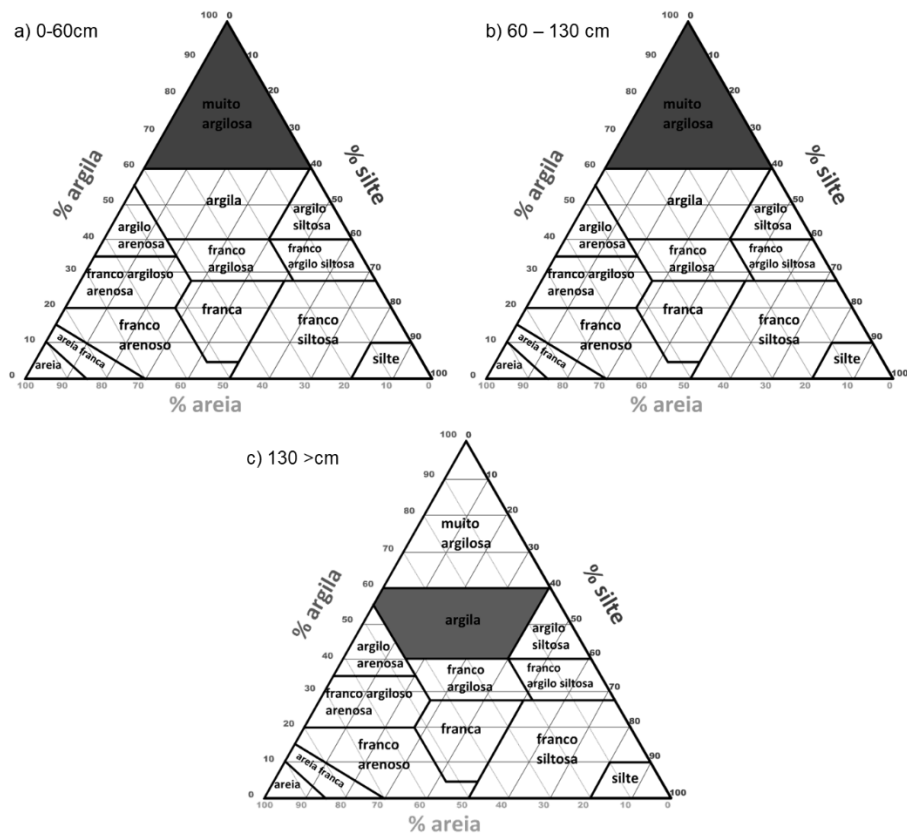
Gráfico 21: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 6 – Amostra coletada sobre murundus (P6M).



Fonte: Autora.

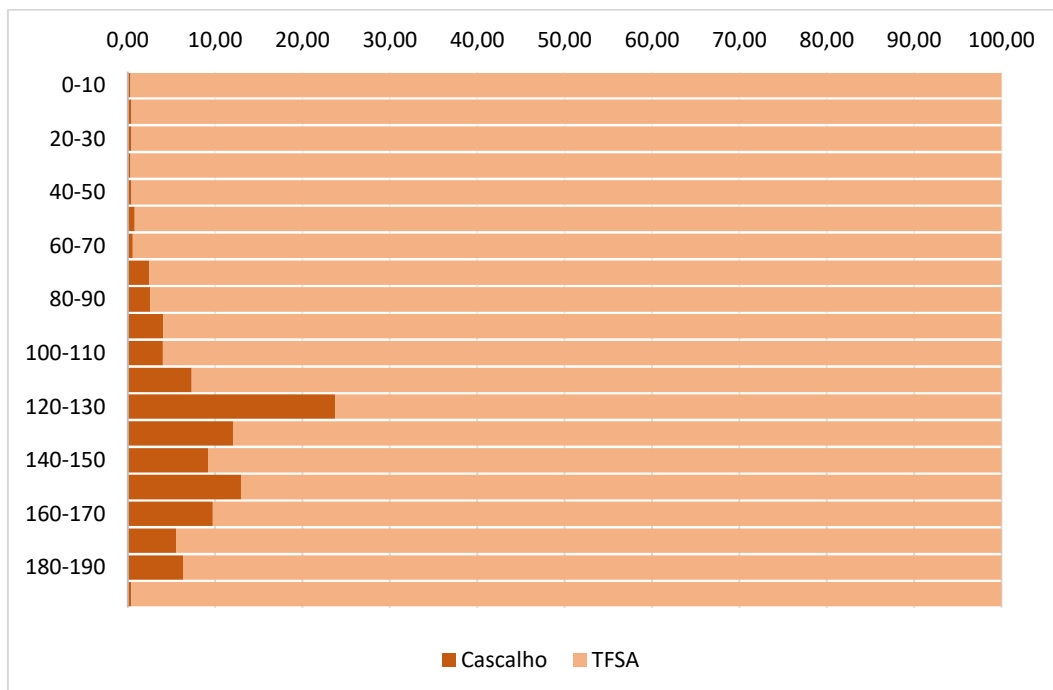


Figura 97: Triângulo textural P6M em diferentes profundidades.



Fonte: Autora.

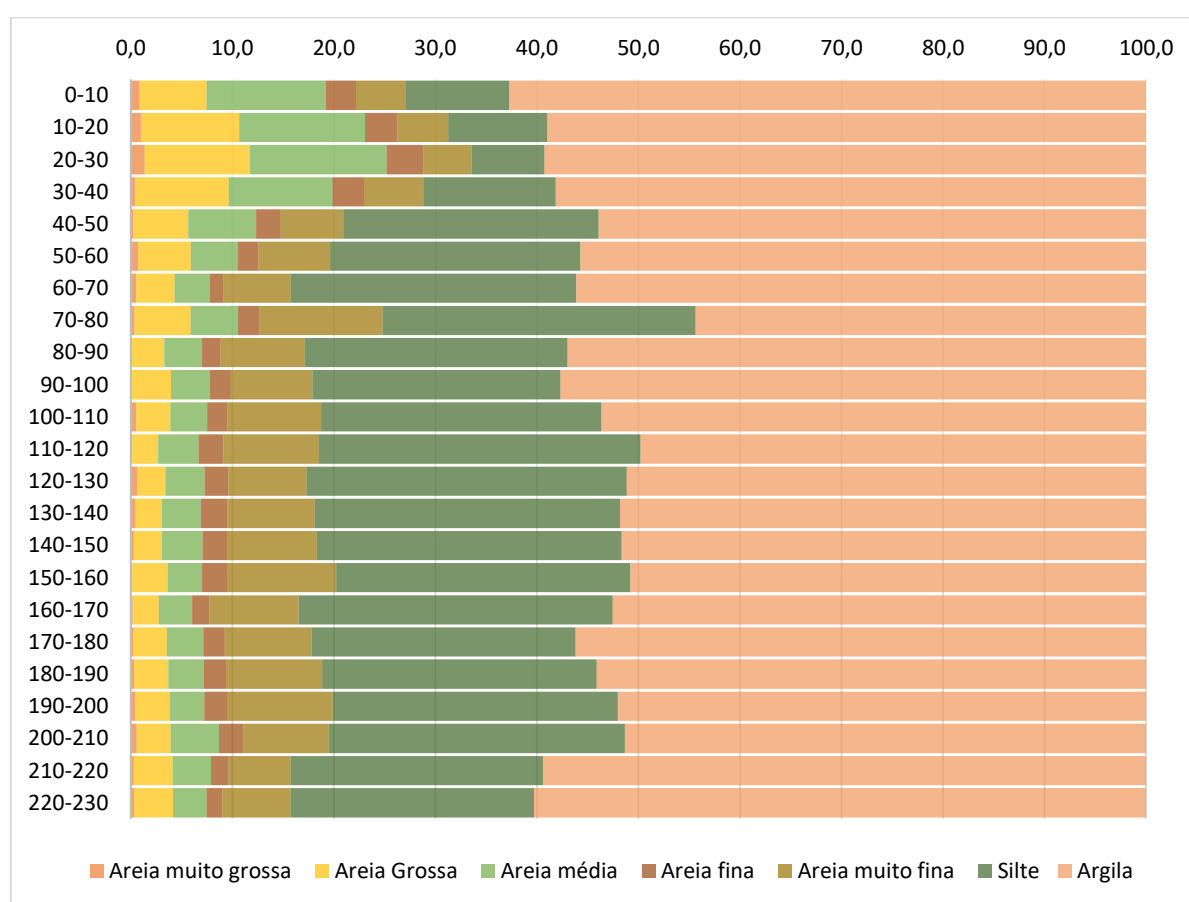
Gráfico 22: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 6 sobre murundus (P6M).



Fonte: Autora.

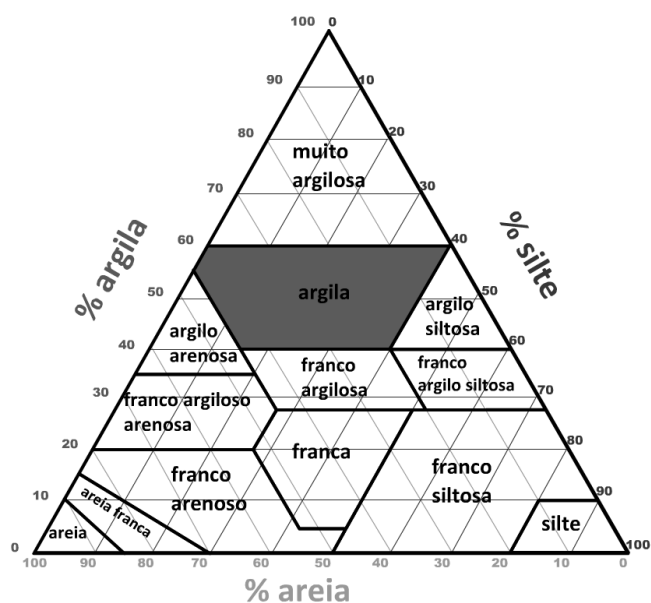
Assim como no murundu, o entre murundus também apresentou constituição fina, com predomínio da fração argila ao longo de todo o perfil. Sua concentração foi frequentemente superior a 60%, o que confirma que este solo possui textura argilosa (Gráfico 23, Gráfico 24) Figura 98. Nas camadas superficiais (0-50 cm), há uma maior diversidade granulométrica, com contribuições das frações arenosas (areia muito grossa, grossa, média, fina e muito fina). Esse padrão pode estar associado a um horizonte mais influenciado por processos erosivos, deposição recente de material, ou ação da bioturbação.

Gráfico 23: Análise % granulométrica TFSA – Ponto 6E – Amostra coletada entre murundus.



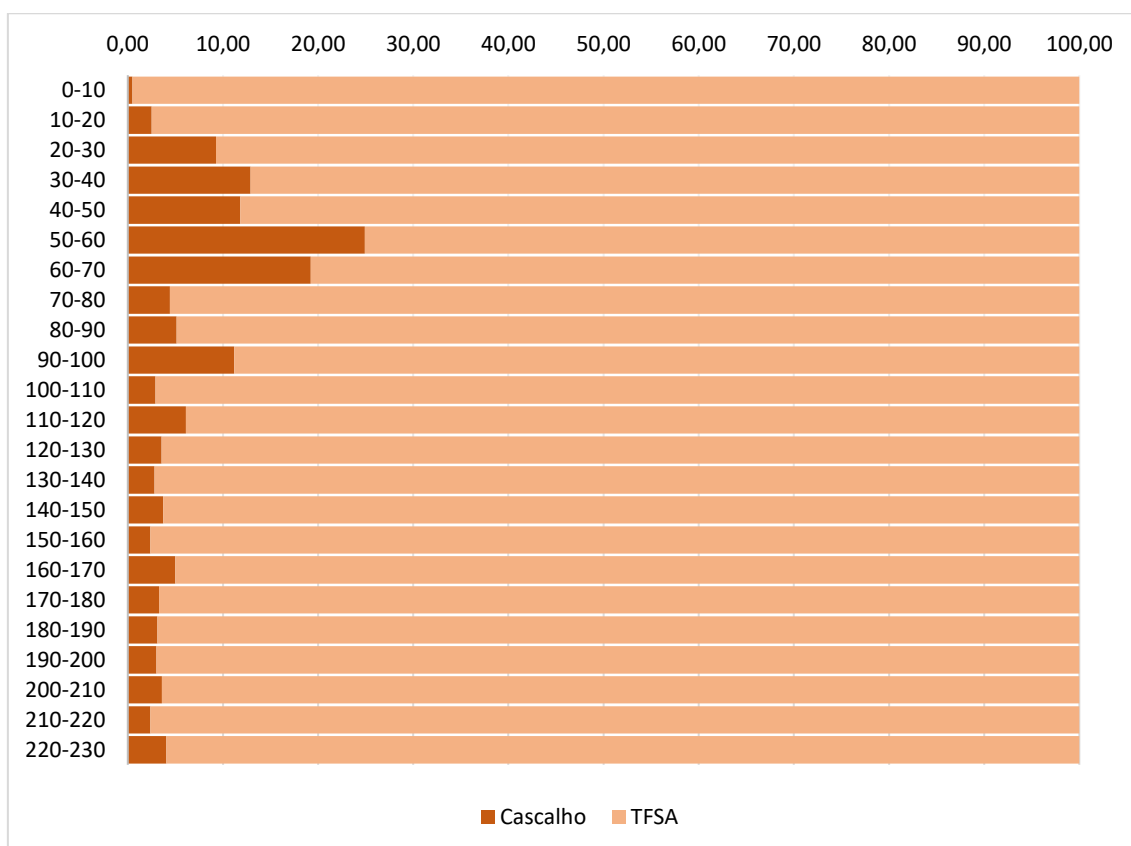
Fonte: Autora

Figura 98: Triângulo textural P6E todas as profundidades resultaram em textura argilosa.



Fonte: Autora

Gráfico 24: Análise granulométrica % comparativa entre cascalho e TFSA no ponto 6 entre murundus (P6E).



Fonte: Autora.

### 6.6.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS P6

#### Ponto 6 Murundu (P6M)

Com base nos dados químicos o solo de P6M assim como os demais pontos apresentou características químicas típicas de solos ácidos, intemperizados e de baixa fertilidade natural. O solo exibiu acidez elevada em todas as profundidades (4,42- 5,34), com pH mais baixo na superfície e aumento na profundidade (provável lixiviação de bases) (Tabela 7).

Tabela 7: Características químicas das amostras P6 em cima (topo) P6m e entre murundus (entre) P6e.

Profundidade	Composição Química																
	pH	K	Ca	Mg	SB	Al	H+Al	T	t	V	M	Fe	P rem.	P	C.O	C.O	MO
	H <sub>2</sub> O	cmolc dm <sup>-3</sup>							%			mg dm <sup>-3</sup>		total	%		dag kg <sup>-1</sup>
P6M 0-20	4,42	0,08	0,63	0,22	0,93	1,22	7,27	8,2	2,15	11	56,62	98,94	4,97	1603,82	1,73	1,59	2,75
P6M 20-80	4,28	0,04	0,5	0,12	0,66	1,52	8,34	9	2,18	7	69,53	47,1	7,94	1366,49	2,3	0,88	1,52
P6M 80-140	4,86	0,02	0,06	0,02	0,1	0,49	8,25	8,35	0,59	1	82,27	24,77	4,81	1249,06	1,21	0,74	1,29
P6M 140-200	5,34	0,02	0,23	0,06	0,31	0,11	5,09	5,4	0,42	5	26,16	21,23	2,52	1040,03	1,54	0,81	1,41
P6E 0-30	4,68	0,07	0,07	0,05	0,19	0,75	5,77	5,96	0,94	3	79,43	65,23	5,68	1696,79	1,32	2,25	3,88
P6E 30-80	4,86	0,05	0,06	0,01	0,12	0,36	7,27	7,39	0,48	1	74,03	24,58	7,69	1304,32	1,44	0,92	1,6
P6E 80-130	5,28	0,02	0,07	0,02	0,11	0,19	6,02	6,13	0,3	1	62,7	8,15	3,1	1081,11	1,28	0,78	1,36
P6E 130-230	5,34	0,02	0,2	0,09	0,31	0,07	4,98	5,29	0,38	5	18,39	6,23	2,72	1022,53	2,57	0,83	1,44

Observação: Os valores de fósforo total apresentados podem estar superestimados devido a possíveis inconsistências analíticas no processo laboratorial.

Fonte: Autora

O teor de Al<sup>3+</sup> é elevado nas camadas superficiais (1,22), indicando acidez tóxica a plantas não adaptadas, em profundidade ocorre redução nos valores (0,11), possivelmente devido à menor atividade biológica e lixiviação. A CTC efetiva por outro lado, se mostrou baixa em todas as camadas, variando de 2,15 na superfície para 0,42 na profundidade (140-200 cm), refletindo na baixa fertilidade do solo e menor capacidade de retenção de nutrientes. A CTC a pH 7,0 apresentou valores médios (8,2 na superfície, 5,4 na profundidade), indicando maior contribuição de Al<sup>3+</sup> e H<sup>+</sup> na CTC.

A Saturação por bases esteve baixa em todas as camadas (11% na superfície, 5% na camada profunda), indicando baixa fertilidade natural por outro lado, a Saturação por alumínio (m%) manteve-se elevada na superfície (56,62%) e na camada subsuperficial (69,53%), reduzindo-se para 26,16% em profundidade, sugerindo toxicidade para plantas não adaptáveis.

Os valores de Ferro foram elevados na superfície (98,94 mg/dm<sup>3</sup>), com redução em profundidade (21,23 mg/dm<sup>3</sup>), o que é comum em solos intemperizados com alta concentração de óxidos de ferro na superfície, assim como P total que foi relativamente alto na superfície (1603,82 mg/dm<sup>3</sup>) e diminuiu em profundidade, indicando maior adsorção de P em camadas superficiais. Já o P (rem) foi baixo em todas as camadas, com valores reduzidos na profundidade (4,97 mg/dm<sup>3</sup> na superfície para 2,52 mg/dm<sup>3</sup> em 140-200 cm) refletindo a alta fixação de P por óxidos de ferro e alumínio.

O carbono orgânico e a matéria orgânica tiveram comportamentos próximos sendo o C.O mais concentrado na superfície (2,75%), reduzindo-se para 1,41% em profundidade, assim como a M.O com 1,73% na superfície e 1,54% em profundidade (140-200 cm) podendo ser associado a decomposição de matéria orgânica e menor atividade biológica.

A alta uniformidade do teor de argila ao longo do perfil, forte intemperismo, alta acidez, baixa saturação por bases e ausência de diferenciação textural significativa são características típicas de Latossolo, sendo esse solo P6M classificado de acordo com o SiBCS como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico argiloso.

#### **Ponto 6 Entre Murundus (P6E)**

Os baixos valores de pH em P6E indicam um solo ácido, o que pode impactar a disponibilidade de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. A acidez do solo é um fator preponderante, com valores de pH variando entre 4,68 na camada mais superficial (0-30 cm) e 5,34 na camada mais profunda (130-230 cm).

A saturação por alumínio se mostrou elevada nas camadas mais superficiais, com valor de 79,43% para camada de 0-30 cm, um indicativo de toxicidade para as raízes das plantas. Essa saturação diminui com a profundidade, atingindo 18,39% na camada de 130-230 cm, o que pode sugerir um ambiente menos restritivo ao desenvolvimento radicular em profundidades maiores.

A CTC efetiva e a CTC a pH 7,0 mostram valores relativamente baixos, com uma leve tendência de diminuição com a profundidade. A CTC efetiva varia de 0,94 cmolc/dm<sup>3</sup> na camada mais superficial até 0,38 cmolc/dm<sup>3</sup> na camada mais profunda. Já a CTC a pH 7,0 varia de 5,96 cmolc/dm<sup>3</sup> na superfície para 5,29 cmolc/dm<sup>3</sup> na camada mais profunda. Esses valores indicam um solo com baixa capacidade de retenção de nutrientes, possivelmente associado a uma textura arenosa ou a um material de origem pobre em minerais de alta capacidade de troca.

Os teores de fósforo disponível (P rem.) e total (P total) também refletem a baixa fertilidade do solo. O fósforo remanescente, que indica a capacidade de disponibilização do elemento no solo, varia de 5,68 mg/dm<sup>3</sup> na camada superficial para 2,72 mg/dm<sup>3</sup> na camada mais profunda. O fósforo total segue uma tendência decrescente com a profundidade, partindo de 1696,79 mg/dm<sup>3</sup> na superfície para 1022,53 mg/dm<sup>3</sup> na camada mais profunda. Essa baixa disponibilidade de fósforo pode ser um fator limitante para o crescimento vegetal, sugerindo a necessidade de adubação fosfatada.

A matéria orgânica e o carbono orgânico apresentam maior concentração na camada mais superficial, com valores de 3,88 dag/kg e 2,25%, respectivamente. Esses valores refletem a decomposição da vegetação e a presença de matéria orgânica acumulada na superfície. Com o aumento da profundidade, a MO e o C.O diminuem, atingindo valores de 1,44 dag/kg e 0,83%, respectivamente, na camada de 130-230 cm. Isso é esperado, pois a matéria orgânica tende a se concentrar nos horizontes superficiais do solo devido à deposição e decomposição de material vegetal.

Os teores de ferro (Fe) são relativamente altos na camada superficial (65,23 mg/dm<sup>3</sup>) e decrescem com a profundidade (6,23 mg/dm<sup>3</sup> na camada mais profunda). A alta concentração de ferro pode estar associada à presença de concreções ferruginosas típicas de ambientes de campo de murundu, onde há variações na drenagem e processos de oxirredução que influenciam a dinâmica do ferro no solo.

A análise granulométrica indica um solo argiloso em todas as profundidades, com teores de argila superiores a 400 g/kg e chegando a mais de 500 g/kg em camadas mais profundas. Esse alto teor de argila sugere um solo fortemente intemperizado e com potencial de baixa permeabilidade. As cores variam entre tons avermelhados e amarelados, típicos de solos ricos em óxidos de ferro, sendo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (SiBCS, 2018).

#### 6.6.4 Sistematização

O solo do morrote de murundu apresentou textura argilosa, possuindo 21,1% mais argila que o solo da área entre murundus. O entre murundus apresentou granulometria mais heterogênea, possuindo 38,2% mais areia e 44,9% de silte. Esta homogeneização pode ser atribuída a processos pedogenéticos, entretanto, a presença de térmitas no local corrobora com ideia de homogeneização das partículas do solo por parte dos animais.



Além disso, os murundus apresentaram maiores valores de CTC total e efetiva, soma de bases, fósforo remanescente, cálcio e magnésio, além de maior saturação por bases, o que indica que além das partículas, a ação das térmitas também atua na concentração de nutrientes no solo, refletindo em pontos de maior fertilidade.

---

## DISCUSSÕES

---



*Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota (Madre Teresa de Calcutá).*

## **7 DISCUSSÕES**

### **7.1 Características físicas gerais dos solos de murundus e áreas adjacentes**

A análise física indica que os murundus tendem a apresentar maior teor de argila em comparação às áreas entre murundus. Isso é observado de maneira consistente nos diferentes pontos analisados, como no Ponto 1, onde os murundus possuem 58,74% mais argila que o entre murundus, e no Ponto 3, onde esse aumento é de 33,5%. Essa diferença pode ser explicada pelo processo de construção dos murundus por térmitas e outros organismos edáficos, que tendem a selecionar partículas finas, como argila e silte, para a edificação de suas estruturas, aumentando a coesão e estabilidade do solo.

Com base nas análises, observa-se que a granulometria do solo é mais fina nos topos dos murundus em relação ao seu entorno. Esse resultado é concordante com os apontados por Oliveira Filho (1988), que indica que certas espécies de cupins, ao realizarem a separação de partículas para a construção dos ninhos, contribuem para tornar a textura mais fina do que nos arredores. Segundo Antunes et al. (2012), a granulometria é uma das características do solo mais alteradas pela atividade de térmitas, pois esses organismos utilizam preferencialmente a fração argila na construção de seus montes. Estudos adicionais, como os de Coutinho (1990) e Ponce e Cunha (1993), também relatam a predominância de solos mais argilosos em murundus, reforçando a influência biogênica na seleção de partículas finas.

Além disso, os solos entre murundus apresentam maior teor de areia, como no Ponto 6, onde a área entre murundus possui 38,2% mais areia do que o murundu. Esse fenômeno pode estar relacionado ao transporte diferencial de partículas pelo escoamento superficial, em que materiais mais grossos, como areia, tendem a se depositar nas áreas mais baixas, enquanto partículas finas são incorporadas aos murundus. Além disso, a seleção de partículas realizada por térmitas, um dos principais agentes formadores de murundus (Ponce e Cunha, 1993), também pode ter contribuído para os maiores teores de areia no entre murundus devido sua seleção e triagem. Trabalhos como os de Rodrigues et al. (2004) e Santos et al. (2015) corroboram esse padrão, indicando que solos entre murundus frequentemente apresentam maior teor de areia devido ao transporte e deposição diferenciados.

Cabe ressaltar que a diferenciação textural promovida por térmitas tende a ser mais evidente em solos com granulometria mais grossa, como aqueles com maior teor de

areia. Em ambientes onde o solo já é predominantemente argiloso, a atividade desses organismos não resulta em alterações significativas na textura, uma vez que a fração argila, por já estar presente em alta proporção, limita a ação seletiva. Nesses casos, as térmitas utilizam o próprio material disponível, sem realizar uma triagem marcante entre as frações texturais. Isso indica evidências da atuação biogênica na formação dos murundus é mais expressiva em áreas onde existe maior heterogeneidade granulométrica, reforçando a ideia de que os efeitos sobre a textura do solo dependem diretamente da composição inicial do material edáfico.

Os resultados de silte mostram variações mais dependentes do local, mas frequentemente os murundus apresentam um teor ligeiramente maior ou semelhante ao entre murundus. Esse comportamento reforça a hipótese da seleção de partículas finas na formação dos montes, como descrito por Castro et al. (2006) e Oliveira et al. (2010), que observaram uma tendência de maior acúmulo de silte em solos ocupados por térmitas. Essa seleção pode estar relacionada à necessidade de maior coesão estrutural dos ninhos e montes, favorecendo a retenção de umidade e a estabilidade dos murundus ao longo do tempo.

## **7.2 Características químicas gerais dos solos de murundus e áreas adjacentes**

As análises químicas indicam que os murundus geralmente apresentam maior teor de matéria orgânica e carbono orgânico. No Ponto 2, por exemplo, os murundus possuem 37,3% mais carbono orgânico que o entre murundus. Esse acúmulo pode estar associado a uma menor taxa de mineralização e a um maior aporte de resíduos vegetais, como apontado por Silva et al. (2012), que destacam a influência da bioturbação por organismos edáficos na retenção de matéria orgânica.

Em relação à capacidade de troca de cátions (CTC), os murundus tendem a apresentar valores mais elevados, especialmente nas camadas superficiais e intermediárias, como observado no Ponto 6. Essa maior CTC está associada à presença de maior teor de argila e matéria orgânica, que proporcionam um maior número de sítios de adsorção de nutrientes (Resende et al., 2011). Estudos em outros campos de murundus também encontraram esse padrão, como demonstrado por Almeida et al. (2015), que relataram maior retenção de cátions em solos mais argilosos formados por interação biológica.

Os teores de cálcio e magnésio foram geralmente superiores nos murundus, como no Ponto 6, onde esses nutrientes se apresentam em maior quantidade do que no entre murundus. A presença de maior matéria orgânica contribui para essa retenção, pois a matéria orgânica aumenta a capacidade de complexação de cátions, facilitando a disponibilidade desses nutrientes (Mendonça e Matos, 2005). Entretanto, estudos como os de Ferreira et al. (2018) indicam que solos em campos de murundus também podem apresentar baixos teores desses nutrientes devido à lixiviação intensa em ambientes tropicais.

De forma geral, ambos os solos apresentaram valores baixos para os nutrientes K, Ca e Mg. Embora em baixas quantidades, esses nutrientes são suficientes para a manutenção da vegetação nativa local e para a sustentação de diversos serviços ambientais, como ciclagem e reserva de nutrientes. Esse padrão de baixa fertilidade está de acordo com os relatos de Lopes e Cox (1977), que destacam a pobreza química dos solos do Cerrado devido ao intemperismo avançado.

O fósforo total não apresentou diferenças muito expressivas entre os murundus e as áreas entre murundus. Por outro lado, os valores de fósforo remanescente (fração disponível para as plantas) tendem a ser maior nas áreas entre murundus, como observado em todos os pontos, exceto no Ponto 3. Essa diferença pode estar associada ao maior teor de argila nos murundus, uma vez que as argilas de alta atividade podem adsorver o fósforo e reduzir sua disponibilidade imediata (Novais & Smyth, 1999). Estudos de Souza et al. (2013) também relatam que solos com alta proporção de argila apresentam menor disponibilidade de fósforo devido ao efeito de adsorção.

Apesar disso, de forma geral, o fósforo apresentou baixos teores, corroborando os relatos de Resende et al. (2004) para campos de murundus na cidade de Uberlândia-MG e os estudos de Lopes e Cox (1977) sobre solos do Cerrado. Esses baixos teores podem estar relacionados à pobreza do material de origem, composto majoritariamente por quartzo altamente intemperizado, conforme apontado por Ker (1997). Além disso, os baixos teores de matéria orgânica também podem contribuir para a baixa disponibilidade de fósforo, uma vez que a matéria orgânica pode complexar fósforo e reduzir sua fixação (Silva et al., 2010).

Os solos entre murundus frequentemente apresentaram pH mais alto e menor saturação por alumínio, o que pode favorecer o desenvolvimento vegetal a curto prazo, como visto no Ponto 6. Esse fator pode indicar um menor impacto da acidez nas áreas entre murundus em comparação aos murundus. Em estudos semelhantes, Martins et al.

(2006) constataram que solos de Ipucas na planície do Médio Araguaia são extremamente ácidos, de baixa fertilidade natural e com altos teores de alumínio, reforçando os resultados deste estudo.

De forma geral, para ambos os ambientes, os solos dos campos de murundu estudados, segundo os critérios de Lopes e Cox (1977) para ambientes de Cerrado, foram considerados como de alto teor de alumínio e elevada acidez, com baixa disponibilidade de bases trocáveis.

Isto posto, os murundus apresentaram maiores teores de argila, maior capacidade de retenção de nutrientes e maior matéria orgânica, tornando-os potenciais reservatórios de fertilidade a longo prazo. Por outro lado, as áreas entre murundus tendem a apresentar maior disponibilidade imediata de fósforo e cálcio, além de menor acidez e menor teor de alumínio, o que pode favorecer a absorção de nutrientes por parte das plantas em curto prazo. Estudos como os de Oliveira et al. (2020) e Santos et al. (2018) destacam a relevância das interações biológicas e físicas na formação e dinâmica dos murundus, ressaltando o papel dos organismos edáficos na modificação das propriedades do solo ao longo do tempo.

É importante destacar, contudo, que a atividade das térmitas, embora proporcione melhorias significativas nas condições físicas e químicas dos solos — como aumento da matéria orgânica, da CTC e da retenção de nutrientes — não implica, necessariamente, em uma transformação de um solo distrófico em eutrófico. As alterações promovidas por esses organismos atuam dentro dos limites impostos pelas características originais do solo e do material de origem.

### **7.3 Apontamentos sobre a Gênese e Dinâmica de formação dos murundus na Serra da Canastra**

A influência dos cupins na formação dos murundus tem sido amplamente discutida na literatura, dado o papel significativo desses organismos na modificação das propriedades estruturais, químicas e bioquímicas do solo. Durante a construção de seus ninhos, os cupins promovem alterações que resultam em maior concentração de elementos essenciais, como carbono (C), nitrogênio (N) e fósforo (P), além de cátions trocáveis como potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Essas mudanças também afetam a textura do solo, tornando os murundus mais argilosos em comparação com as áreas adjacentes (De Bruyn e Conacher, 1990; Holt e Lepage, 2000; López-Hernández,

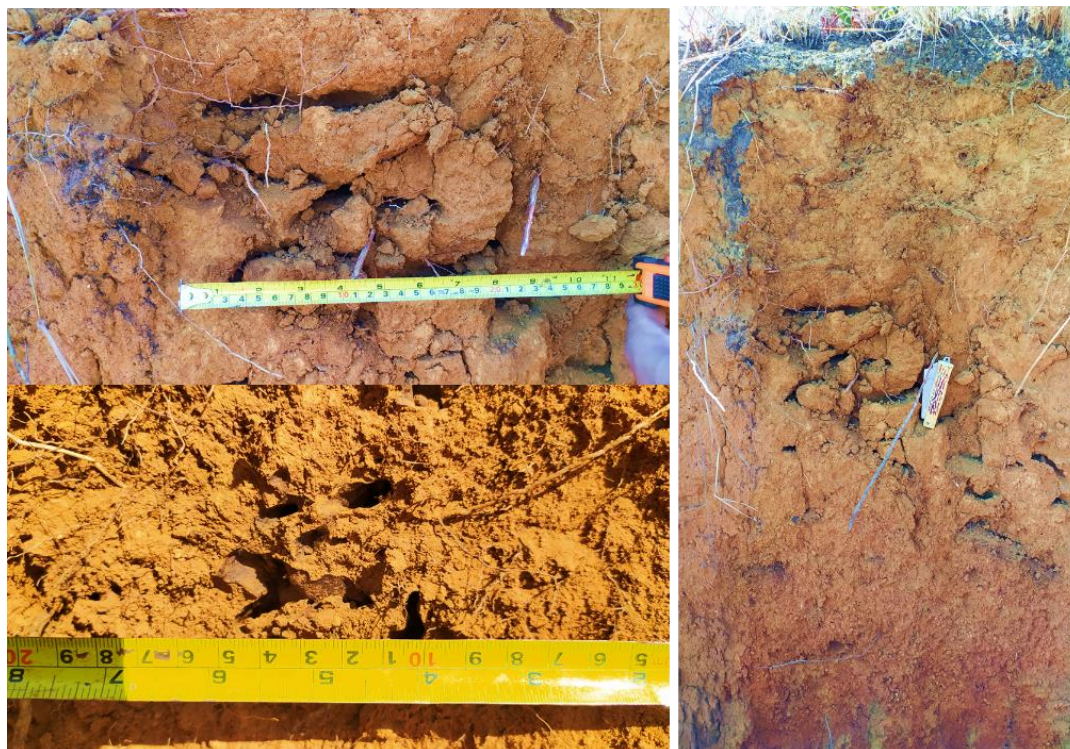


2001; Jouquet et al., 2002; Sarcinelli et al., 2009). Além disso, a bioturbação promovida pelos cupins operários durante o processo de construção pode homogeneizar os perfis do solo, mascarando diferenças pedogênicas locais (Schaetzl e Anderson, 2005).

Souza, Delabie e Sodré (2020) ao conduzirem seus estudos em campos de murundus revelaram solos ácidos, com maiores teores de nutrientes (C, N e P), matéria orgânica e cátions trocáveis, além de uma textura mais argilosa nos murundus em relação aos solos entre murundus. Para confirmar que os murundus são originados pela atividade dos cupins, os autores propuseram quatro hipóteses principais: (1) os solos dos murundus apresentam morfologia mais uniforme ao longo do perfil em comparação com os solos adjacentes; (2) a textura dos solos dos murundus é mais argilosa do que a dos solos vizinhos; (3) os perfis de murundus contêm maiores teores de nutrientes e matéria orgânica; e (4) traços biológicos dentro dos murundus são compatíveis com construção ativa por cupins, e não apenas com ocupação secundária. Por outro lado, a rejeição de tais hipóteses sugeriria que os murundus não são primariamente o produto da atividade de cupins, mas sim a consequência de outro agente hierarquicamente dominante, que os autores não identificaram.

Assumimos que os resultados do presente estudo corroboram tais hipóteses indicando uma relação direta entre a atividade dos cupins e a gênese dos murundus na Serra da Canastra. Primeiramente, a distribuição granulométrica nos murundus revelou maior uniformidade ao longo do perfil, os dados mostraram menores variações na distribuição dos teores de argila, silte e areia ao passo que nos solos entre murundus observou-se maior variação entre as camadas. Essa homogeneização pode ser atribuída à movimentação constante de solo promovida pelos cupins e outros organismos edáficos ao longo do tempo (Figura 99).

Figura 99: Evidências de bioturbação por térmitas no interior de um murundu seccionado em duas metades no Chapadão do Diamante. Câmaras de antigos ninhos e tuneis.



Fonte: Confessor, 2023.

A textura dos murundus também se mostrou significativamente mais argilosa com diferenças que variam de 21% a mais (Ponto 6) até 109% a mais (Ponto 4), resultado que está de acordo com a tendência dos cupins de selecionar partículas finas para construção dos montículos, aumentando a coesão do solo e sua capacidade de retenção de umidade.

Quanto aos nutrientes os murundus em geral demonstraram maiores teores de matéria orgânica, carbono orgânico e CTC total, o que indica um acúmulo sustentado de material orgânico nesses ambientes, podendo ser explicado pela menor degradação da matéria orgânica, promovendo maior estabilidade do carbono, enquanto os solos entre murundus apresentaram maior disponibilidade imediata de alguns nutrientes.

Os resultados relacionados ao fósforo também reforçam a influência dos cupins. O fósforo total se mostrou geralmente mais elevado nos murundus, possivelmente devido à maior capacidade de adsorção proporcionada pelas argilas bem como a bioturbação. Entretanto, o fósforo remanescente se mostrou mais elevado nos solos entre murundus, onde a menor presença de argila favorece sua disponibilidade imediata.

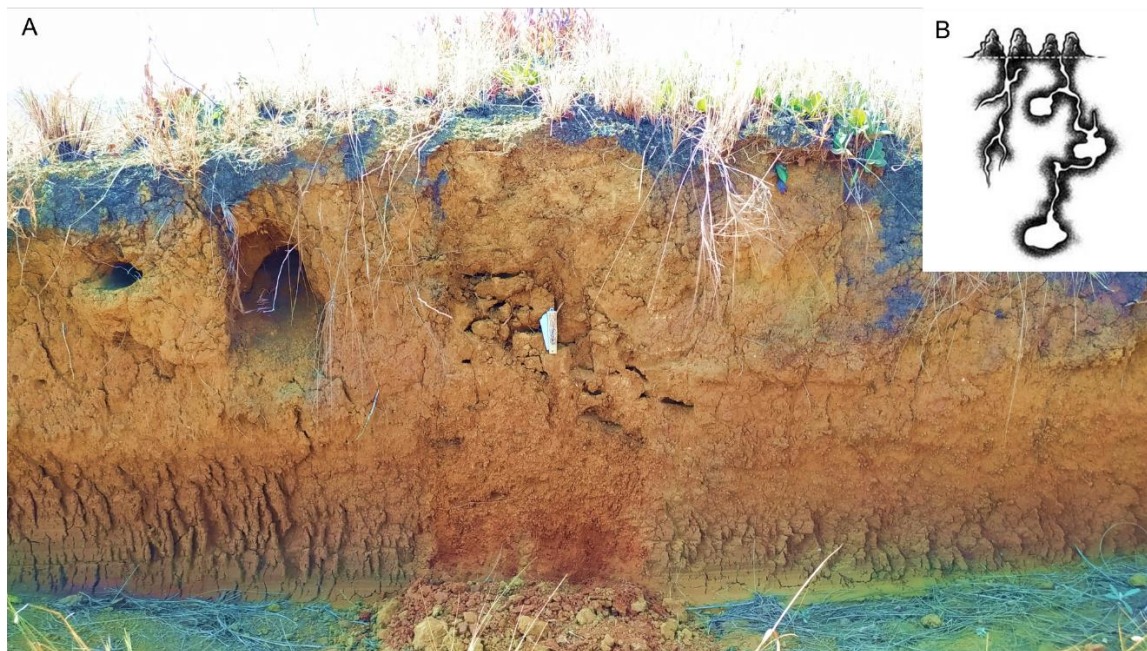
Os teores de cálcio e magnésio variaram entre os pontos, sem um padrão definido, sugerindo que processos de lixiviação e condições de drenagem podem desempenhar um

papel importante na distribuição desses nutrientes. Já outros nutrientes bases, como o potássio, por exemplo, apresentaram baixos teores em ambos os ambientes, sem diferenças significativas.

Além disso, outras evidências reforçam a influência dos cupins na gênese dos murundus. A presença de camadas mais argilosas em profundidades intermediárias pode favorecer a retenção de umidade, um fator crítico para a sobrevivência das colônias de cupins. A combinação de areia nas camadas superficiais e argila nas profundidades também proporciona condições ideais para escavação e estabilidade estrutural, características essenciais para o desenvolvimento dos cupinzeiros. Deste modo, verificou-se que os cupins não apenas ocupam estes campos, mas também contribuem para sua formação.

Finalmente, foram identificados vestígios biológicos recentes e antigos dentro dos murundus, confirmando a intensa atividade dos cupins na construção dessas estruturas (Figura 100). Esse conjunto de evidências indica que os murundus não são apenas habitados por cupins, mas também formados por sua atividade ao longo do tempo.

Figura 100: Perfil em morrote de murundu. Evidências de antigas colônias no interior de um murundu.



Fonte: Autora.

Assim, os murundus na Serra da Canastra não são apenas feições geomorfológicas, mas também ecossistemas dinâmicos cuja gênese está intimamente ligada à bioturbação promovida pelos cupins se tornando sistemas ecológicos de grande



importância. Em todos os pontos amostrais foi possível observar ninhos ativos com a presença de cupins (Figura 101), reforçando sua correlação com a paisagem.

Figura 101: Atividade biológica da pedofauna. Térmitas.



Fonte: Autores.

#### 7.4 Padrões paisagísticos e características recorrentes nos Campos de Murundus do Chapadão do Diamante

Os campos de murundus apresentam características paisagísticas peculiares que se repetiram nas diferentes regiões do Chapadão do Diamante. Esses padrões resultam da interação entre fatores geológicos, hidrológicos, pedológicos e biológicos, que influenciaram sua formação e manutenção ao longo do tempo.

O estudo dos Campos de Murundus permitiu identificar semelhanças estruturais e variações ambientais entre os pontos investigados. Dentre as características recorrentes, destacam-se a presença de camadas de cascalhos lateríticos, concreções ferruginosas cimentadas (cangas), solos predominantemente ácidos e uma vegetação adaptada às condições edáficas particulares desses ambientes. Além disso, observa-se a influência da bioturbação, especialmente pela atividade de cupins, na organização do solo e na estruturação dos murundus.

Compreender esses padrões paisagísticos é essencial para aprofundar a análise sobre a origem e a dinâmica desses sistemas, contribuindo para a ampliação do conhecimento geopedológico e ecológico das áreas de murundus do Chapadão. Deste modo, nos tópicos a seguir, serão discutidas as principais características comuns e as

diferenças observadas entre os pontos estudados, buscando estabelecer conexões entre os fatores condicionantes dessa fitofisionomia.

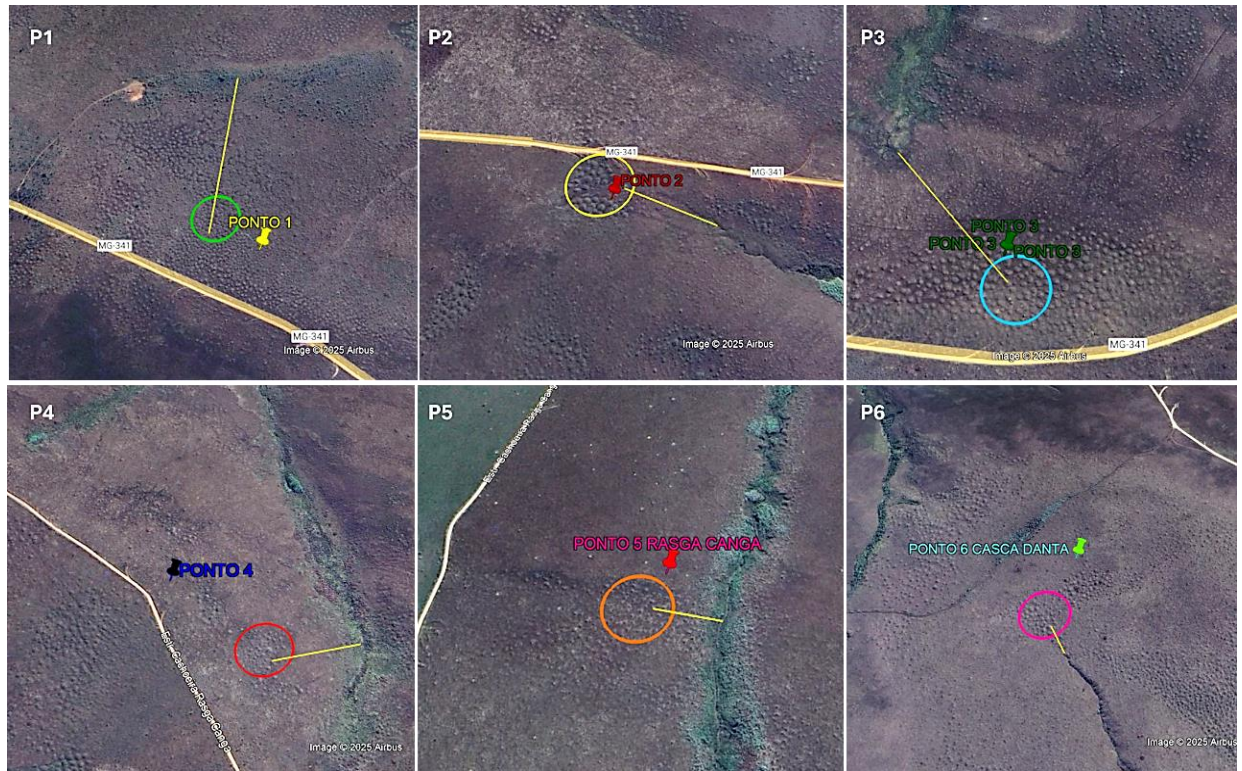
### **7.5 Relação entre a Dinâmica de Fluxos hídricos e a Distribuição dos Campos de Murundus**

A literatura indica que a hidrologia é um fator chave para a ocorrência dos campos de murundus. Conforme Araujo Neto et al. (1986) e Furley (1986), esses campos são encontrados essencialmente em áreas com regime hídrico caracterizado pelo excesso de água no solo, podendo ser originados pela elevação do lençol freático ou por chuvas sazonais e escoamento superficial. Furley (1986) enfatiza que a elevação do lençol freático é a principal característica associada à sua formação.

Os pontos analisados no Chapadão do Diamante apresentaram-se alagados durante períodos de alta pluviosidade ou com maior umidade. Esse fenômeno pode ser atribuído à maior proximidade da área com o lençol freático, reforçada pela presença de rochas quartzíticas pouco permeáveis e pela formação de cangas, que desempenham um duplo efeito: restringem a infiltração e promovem a acumulação superficial de água.

Além disso, mesmo que pouco pronunciado, todos os campos de murundus analisados encontram-se em zonas preferenciais de escoamento superficial e subsuperficial da água na vertente, distribuindo-se em áreas hidrogeomorfologicamente ativas presentes nos topos, terços médios e fundos de vale (Figura 102). Malheiro (2023) reforça que a acumulação ou exfiltração de água em determinadas partes da paisagem é um fator relevante para a formação dos campos.

Figura 102: Localização dos pontos de coletas representando a proximidade das zonas úmidas no fundo de vale de cada vertente destacando em amarelo à direção de escoamento da água superficial.



Fonte: Google Earth, 2023.

Distâncias: P1 (350m) P2 (95m) P3 (225m) P4 (100m) P5 (80m) P6 (50m)

Desta forma, mesmo que os dados até então apresentados corroborem para contribuição biológica como principal fonte de genética, também foi constatado que a distribuição dos campos de murundus no Chapadão do Diamante relaciona-se estreitamente com a dinâmica dos fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais de água nas vertentes.

Os campos em estudo distribuem-se ao longo de áreas de concentração de fluxos, sejam nos topos, terços médios e fundos de vale das vertentes. Neste sentido, sua ocorrência, de modo geral, acontece em áreas ligeiramente depressionárias, as quais tendem a se tornar áreas de acúmulo e/ou passagem da água.

As condições de saturação do solo nestes locais apresentam-se como fator preponderante para a gênese dos campos, onde o regime intermitente de umidade frequente, seguida de períodos de secas contribui para propagação dos montículos na paisagem.

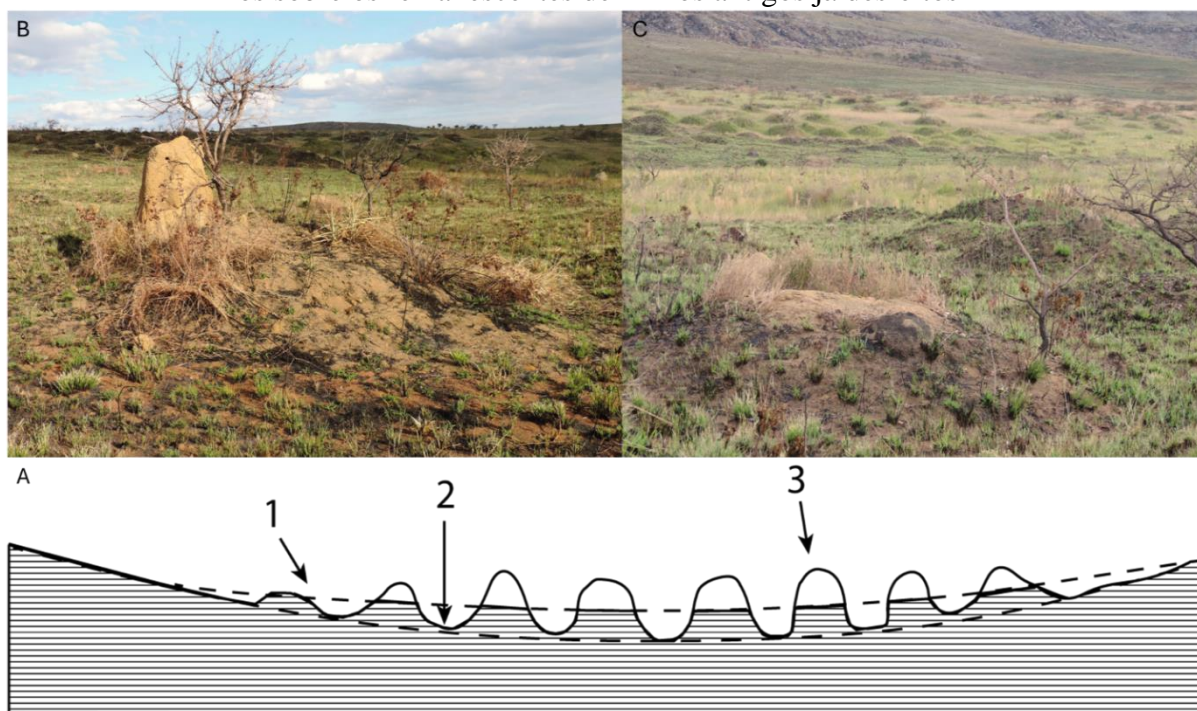


A oscilação dos níveis freáticos impacta os hábitos de vida dos animais no solo, especialmente as térmitas. A elevação da água no interior do solo até a superfície em períodos úmidos promove a morte das colônias, as quais deixam como vestígios na superfície montículos de solo. Em períodos secos, novas colônias se instalam até o retorno do período úmido. Deste modo, a sucessão entre períodos secos e úmidos tende a gerar o acúmulo de montículos na paisagem.

O maior gradiente altimétrico em relação às áreas circundantes dos montículos abandonados gera zonas menos susceptíveis ao encharcamento, contribuindo para perenidade das colônias que ali se instalam, num processo sucessivo e longínquo, que resultou na paisagem atual, com áreas de microrrelevo característico, ou seja, com morrotes de murundus.

A Figura 103 ilustra o processo de formação dos murundus ao longo do tempo, destacando três aspectos fundamentais. Primeiro, o gradiente altimétrico gerado pelos montículos abandonados cria áreas elevadas em relação ao entorno, tornando-as menos suscetíveis ao encharcamento e favorecendo a perenidade das colônias de térmitas. Em seguida, a ação desses insetos, ao escavarem túneis e galerias, promove a remoção e deposição seletiva de partículas, contribuindo para a diferenciação dos materiais e a construção progressiva dessas elevações (B e C). Por fim, esse processo sucessivo de ocupação, abandono e reconstrução das colônias ao longo do tempo resulta na paisagem atual, marcada por um microrrelevo característico composto pelos murundus.

Figura 103: Formação dos Murundus ao Longo do Tempo. A figura ilustra o processo de degradação de um ninho de cupim, que atualmente contribui para a incorporação de solo na formação de novos murundus (C). Além disso, evidencia a criação de novos ninhos sobre os remanescentes de ninhos antigos já desfeitos



Fonte: Autora

Mesmo que não tenha sido evidenciado erosões no interior dos campos de murundus em estudo, entende-se que eventualmente este processo ocorra, visto que estes se inserem em zonas de movimento frequente da água, a qual tem o potencial de gerar o arraste de partículas de solo.

Deste modo, embora seja reconhecida como um dos processos que influenciam a modelagem desses microrrelevo, sua atuação no chapadão deve ser analisada em conjunto com a bioturbação promovida pelas térmitas. No estágio inicial de formação dos murundus, pequenas elevações no terreno, originadas pela atividade desses insetos, modificam a distribuição do escoamento superficial e da infiltração da água.

Essa alteração na dinâmica hidrológica pode favorecer a concentração de fluxos em passagens preferenciais, as quais tem o poder de desencadear fluxos erosivos, que ao longo do tempo, podem intensificar o gradiente altimétrico entre as áreas de murundus e entre murundus, contribuindo para a manutenção das formas características dos campos.

Sendo assim, a formação e a distribuição dos campos de murundus no Chapadão do Diamante são resultantes da interação entre processos biológicos, hidrológicos e hidrogeomorfológicos. A atividade das térmitas desempenha um papel da gênese dessas

estruturas, promovendo a elevação do solo e influenciando sua granulometria e composição química. No entanto, a dinâmica dos fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais também exerce controle neste processo, regulando a organização espacial dos murundus e podendo contribuir para sua evolução ao longo do tempo.

Diante disso, destaca-se que nos Campos de Murundus do Chapadão do Diamante a ocorrência da bioturbação aliada a ação dos fluxos hídricos atuam de maneira integrada, moldando o ambiente através das interações entre processos geomorfológicos e ecológicos.

#### **7.6 Relação entre as formas de relevo e a ocorrência de Campos de Murundus no Chapadão do Diamante**

As características das formas do relevo possuem papel preponderante na gênese dos murundus, os quais estão diretamente ligados à combinação entre declividade e saturação hídrica do solo, sendo mais comum em encostas suaves sazonalmente inundadas (Silva et al. 2010).

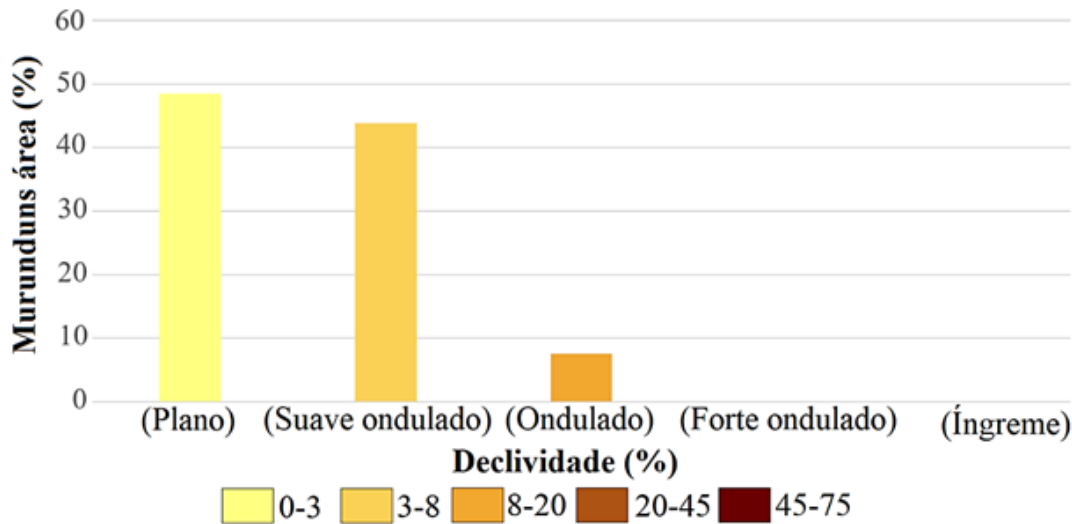
Estudos indicam a relação entre relevo e formação dos murundus. Moreira e Perez Filho (2017), ao estudarem os campos de murundus na Chapada Uberlândia-Uberaba/MG, destacaram sua ocorrência em relevos tabulares, caracterizados por superfícies planas que favorecem a concentração de umidade, essencial para a formação desses microrrelevos.

Castro Júnior (2002) corrobora essa ideia, apontando que os campos de murundus tendem a se restringir a áreas deprimidas sujeitas a inundações e associadas a sedimentos recentes do Quaternário. Não foram encontrados registros da ocorrência desses microrrelevos em relevos íngremes, o que reforça a influência da geomorfologia em sua distribuição espacial estando sua formação mais propícia em terrenos planos ou suavemente ondulados.

Neste sentido, assim como visto na literatura, os campos de murundus analisados no Chapadão do Diamante ocorrem predominantemente em relevos planos a suavemente ondulados, com declividades entre 1,4% e 10%, dispersando-se principalmente nas médias gerais de 3% e 5% (Nazar, 2019). Esses valores são consistentes com os registrados em outras áreas de estudo. Santos et al. (2018), por exemplo, identificaram campos de murundus em declividades variando entre 2% a 5%, e 5% a 10%. Malheiro,

Lima e Corrêa (2024) reforçam essa tendência ao apontar que esses microrrelevos ocorrem preferencialmente em áreas com declividades suaves (Figura 104).

Figura 104: Porcentagem da área total coberta por campos de murundus no sudoeste de Goiás em relação às Classes de Declividade.



Fonte: Malheiro et al, 2024

## 7.7 A influência da litologia e solos na distribuição dos Campos de Murundus

Outro fator determinante para a ocorrência dos murundus no Chapadão do Diamante é a litologia. Malheiro, Lima e Corrêa (2024) destacam a predominância desses campos sobre formações quartzíticas e lateríticas, o que também foi observado na área de estudo.

Além dessas formações, foram identificadas sua distribuição sobre áreas argilosas, derivadas de resquícios de antigas superfícies de aplainamento, caracterizadas por depósitos detrítico-lateríticos e rochas finas como filito. Essa variação litológica pode influenciar na drenagem do solo, ofertando material mais coeso (argiloso) para formação e perenidade dos murundus.

Os tipos de solos também desempenham um papel fundamental na ocorrência dos murundus. Nos pontos analisados no Chapadão do Diamante, os solos identificados variaram entre Latossolos e Argissolos, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS). Estudos indicam que esses tipos de solo são frequentemente associados aos murundus em diferentes regiões do Brasil.

De maneira geral, diversos autores (Baptista et al., 2013; Castro Júnior, 2002; Pinto et al., 2014; Souza et al., 2016, 2019) apontam que os campos de murundus são amplamente encontrados em Plintossolos e Gleissolos. Lima e Corrêa (2021) identificaram maior ocorrência em Latossolos, Cambissolos e solos hidromórficos, enquanto Silva et al. (2014) registraram Plintossolos Háplicos distróficos típicos, Cambissolos Háplicos distróficos e Neossolos Quartzarênicos hidromórficos. Rodrigues e Corrêa (2023) relataram a coexistência de Latossolos Amarelos nos morrotes de murundu e Plintossolos nas áreas entre murundus.

Araujo Neto (1981), ao estudar os murundus da Fazenda Água Limpa no Distrito Federal, identificou uma grande quantidade de concreções lateríticas afloradas no local, fato também constatado nos pontos analisados no Chapadão do Diamante, com maior ocorrência no Ponto 2 e menor no Ponto 1. Esses lateritos são predominantemente vesiculares, característica que, segundo Baptista et al. (2013), facilita o acúmulo de sedimentos e posterior colonização pela vegetação. A vegetação, por sua vez, exerce um papel fundamental na estabilização desses depósitos, reduzindo a erosão e contribuindo para a formação e manutenção dos murundus.

## 7.8 Elementos ambientais preponderantes para formação dos Campos de Murundus do Chapadão do Diamante

Com base nos resultados apresentados e na literatura existente, foi possível identificar características comuns à formação dos campos de murundus na região do Chapadão do Diamante. Esses fatores são consistentes com aqueles observados em outras áreas do Brasil, reforçando a importância de atributos como solos hidromórficos, declividades suaves, relevo plano a suavemente ondulado, formação litológica quartzítica e laterítica e altitudes superiores a 1.200 m. Essas características serão detalhadas no quadro resumo a seguir (Quadro 12).

Quadro 12: Condicionantes naturais da distribuição espacial dos campos de murundus no Chapadão do Diamante – Serra da Canastra – MG.

<i>Características</i>	<i>Descrição</i>
Comportamento da Água no Solo	Sob a fitofisionomia de campos de murundus, ocorre um comportamento peculiar da água no solo. Isso significa que

	a água se comporta de maneira específica nesse ambiente.
Elevação do Nível do Lençol Freático	Nas primeiras chuvas do período chuvoso, pode ocorrer uma elevação do nível do lençol freático.
Supersaturação e acumulação da Água	Sob a fitofisionomia de campos de murundus, pode ocorrer supersaturação, o que significa que o solo está retendo uma quantidade de água além da capacidade usual. Isso pode levar ao afloramento da água na superfície do solo, criando áreas úmidas.
Processo de Armazenamento e Liberação de Água	Após esse período inicial de elevação do lençol freático e afloramento da água, o processo se inverte. Durante os seis meses do período seco, o solo libera lentamente a água armazenada. Isso confere aos campos de murundus a capacidade de atuar como reservatórios naturais de água.
Perenização dos Cursos d'Água	Esse processo de armazenamento e liberação lenta da água pelo solo dos campos de murundus é fundamental para a perenização dos cursos d'água. Isso significa que esses campos fornecem água continuamente aos córregos e nascentes, mesmo nos meses em que não há chuva. Isso é importante para manter o fluxo de água em ecossistemas aquáticos e sustentar a biodiversidade.
Composição do Solo	Solos ácidos, com baixa saturação de bases e elevada saturação por alumínio (>80%), o que pode impactar a distribuição das plantas.
Vegetação Adaptada	Presença de espécies adaptadas à acidez e toxicidade do alumínio, típicas do Cerrado e espécies adaptadas a diferentes condições hidromórficas do solo geradas pelo gradiente altimétrico da microtopografia.
Atividade Biológica	Influência da bioturbação (atividade de cupins e outros organismos), que pode estar relacionada à formação e manutenção dos murundus.



Matéria Orgânica	Maior concentração de matéria orgânica nos murundus, especialmente nas camadas superficiais (0–20 cm).
Biodiversidade	Alta diversidade de espécies vegetais e animais adaptadas a condições adversas (estacionalidade hídrica, solos pobres). Espécies endêmicas podem ocorrer em alguns casos.
Litologia	A área apresenta formações quartzíticas e lateríticas, além da presença de materiais detrito-lateríticos e rochas mais finas como filitos. Esses materiais influenciam na drenagem e na capacidade do solo de reter umidade, favorecendo o surgimento dos murundus.
Solos	Os murundus estão associados a Latossolos e Argissolos, sendo importante quantidades mínimas de argila para sua formação.
Presença de cangas e concreções ferruginosas	A presença de lateritos e concreções ferruginosas foi observada nos pontos analisados, sendo mais abundante em algumas áreas. Essas concreções aumentam a resistência do solo à erosão e criam superfícies propícias para a formação dos murundus.
Relevo e declividade	A distribuição dos murundus ocorre em relevos predominantemente planos a suavemente ondulados, com declividades variando entre 1,4% e 10%, com média entre 3% e 5%. Isso favorece a retenção de água e a formação dos murundus, pois encostas mais íngremes teriam maior velocidade de escoamento, impedindo sua formação.
Localização na vertente	Se encontram tanto nos topos, médias encostas e fundos de vale, onde a dispersão é condicionada pelas características de concentração de fluxos superficiais e subsuperficiais na vertente, ou seja, áreas de concentração armazenamento e passagem de fluxos. Sendo mais visualizados em áreas aplainadas assim como em áreas com quebra de declividade onde os solos apresentam pacote espesso para um pacote pouco profundo
Importância Ecológica	Regulação do microclima e proteção contra erosão.

	<p>Habitat essencial para espécies do Cerrado contribuindo significativamente para a biodiversidade tendo fauna e flora endêmicas</p> <p>Contribuem para a recarga hídrica e a estabilidade dos ecossistemas locais.</p>
--	--

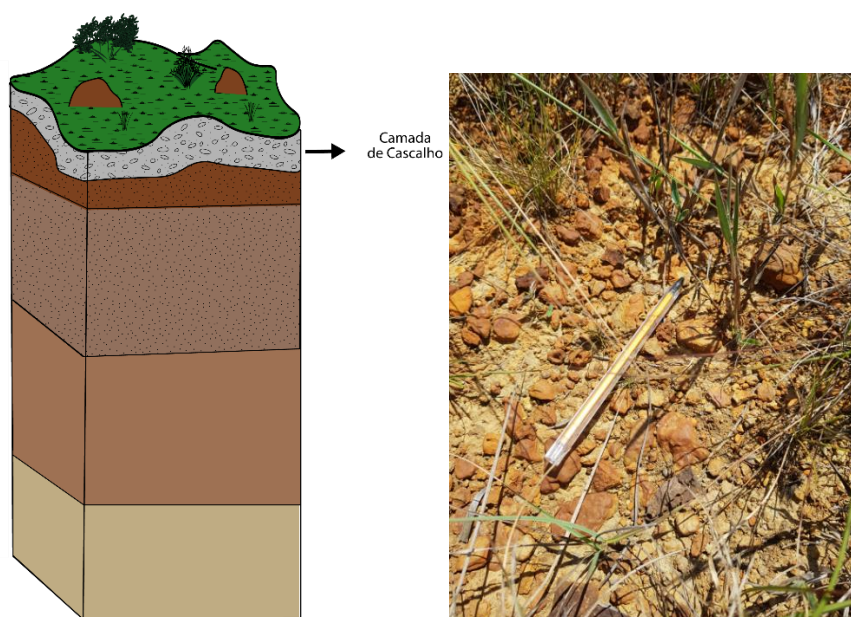
Fonte: Autora, 2025

## 7.9 Camada de Cascalhos

Em todos os campos de murundus analisados foi constatada uma camada de cascalho, a qual variou em profundidade, porém sempre próxima a superfície, conforme ilustrado na Figura 105. Essa camada foi identificada tanto nos murundus quanto nas áreas entre eles, sugerindo sua influência na formação e manutenção dessas estruturas.

Estudos também relataram a presença dessa camada em campos de murundus, apontando diferentes funções e impactos. Por exemplo, Rodrigues (2002) investigou a dinâmica hídrica nos campos de murundus do Planalto dos Parecis e observou que essa camada influencia significativamente a infiltração e o armazenamento de água no solo. Além disso, Silva e Silva (2018), ao estudarem os campos de murundus no Parque Nacional de Brasília, destacaram sua importância na estabilidade estrutural dos murundus e na distribuição da vegetação.

Figura 105: Bloco ilustrativo representando camada de cascalho presente nos campos de murundu, com representação da superfície do solo do ponto 5 com presença de cascalhos.





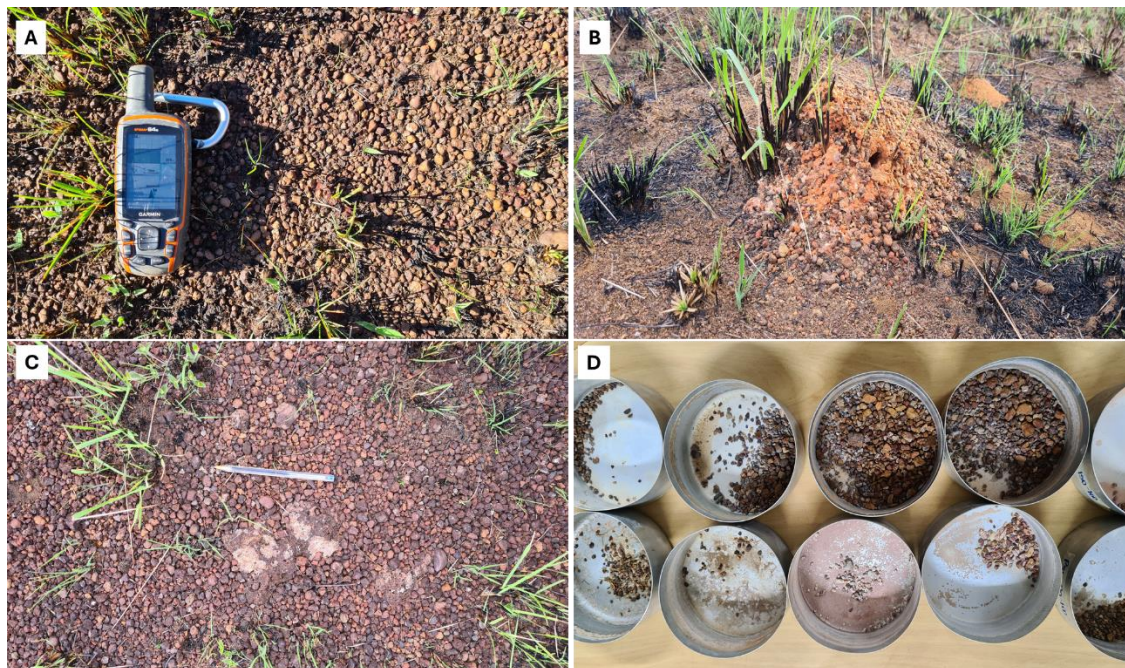
Fonte: Autora

A existência dessas linhas de pedras nos murundus ainda é um tema debatido na literatura científica. Atualmente, três principais hipóteses buscam explicar sua origem: (i) remanescentes de uma antiga pavimentação detrítica, (ii) resultado da atividade biológica e (iii) produtos residuais de processos geoquímicos relacionados ao intemperismo (Hiruma, 2007).

Dessa forma, a origem dessas linhas pode ser atribuída a processos autóctones (materiais de origem local) ou alóctones (materiais transportados) (Santos et al., 2010). Segundo essa teoria, as “linhas de pedras” podem ser interpretadas como vestígios resultantes do intemperismo químico, um processo no qual a alteração do maciço rochoso leva à dissolução e remoção de minerais menos resistentes, enquanto os minerais mais estáveis tendem a se concentrar na superfície ao longo do tempo (Collinet, 1969; Santos et al., 2010) (Figura 106).



Figura 106: Características dos solos de murundus e estruturas Geomorfológicas no Chapadão do Diamante com destaque para a camada de cascalhos presente superficialmente em todos os pontos (a,b,c) e cascalhos encontrados dentro dos montes de murundus em P1M (d).



Fonte: Autora

Além de estar presente na superfície, essa camada também ocorre no interior dos murundus. Estudos realizados na Serra da Canastra, com abertura de perfis de solo em áreas de murundus, identificaram a ocorrência de cascalhos em subsuperfície (Confessor, 2023). No presente estudo, observou-se que essas linhas de pedras se tornam mais evidentes a partir de 60 cm de profundidade, podendo ser interpretadas como uma base estrutural para a formação dos montes.

Esse acúmulo seletivo pode estar associado à dinâmica de formação dos murundus, influenciando diretamente a estrutura e composição do solo nesses ambientes. Além disso, a presença de cascalhos nos campos de murundus pode indicar episódios passados de intensa alteração química e redistribuição de materiais, sugerindo a influência de processos geopedológicos na organização espacial desses fragmentos minerais (Collinet, 1969; Santos et al., 2010).

Esse fenômeno também pode ser explicado pela ação da pedofauna, especialmente das térmitas, que desempenham um papel importante na movimentação de partículas do solo. Segundo Jungerius et al. (1999), esses insetos selecionam materiais durante suas atividades subterrâneas, transportando partículas finas para camadas superiores e deixando materiais mais grosseiros acumulados nas camadas mais profundas. Esse

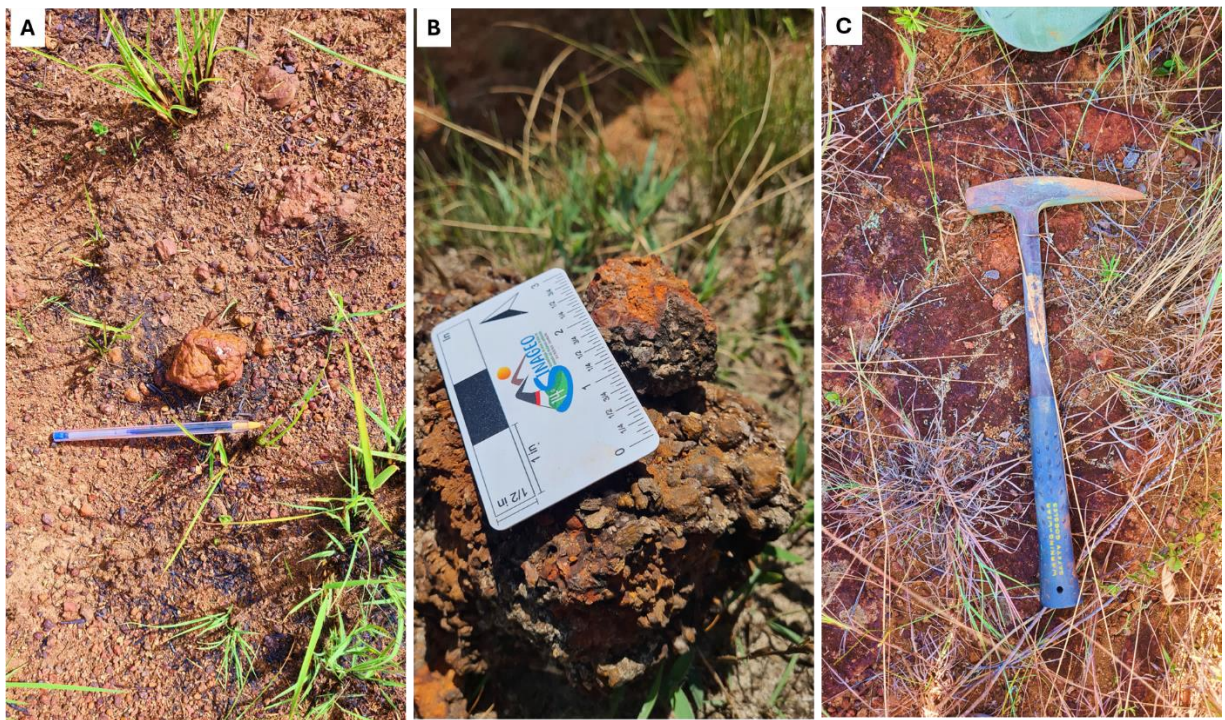


processo resulta na formação de camadas de cascalho tanto na superfície quanto no interior dos murundus, reforçando a hipótese de que a bioturbação é um fator essencial na estruturação desses sistemas.

### 7.10 Camada de Concreções Ferruginosas

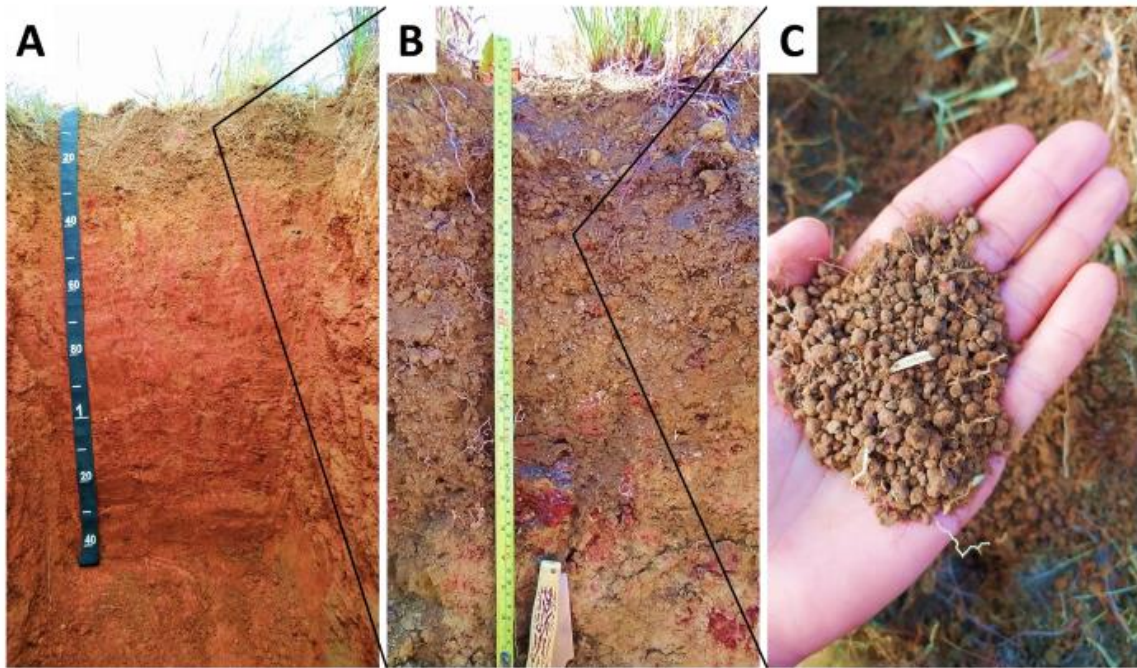
As concreções ferruginosas também foram amplamente identificadas nos campos de murundus da Serra da Canastra. Em algumas áreas, ocorrem em grande quantidade, formando linhas de cascalhos lateríticos, enquanto em outras aparecem em menor concentração, distribuídas tanto na superfície quanto na subsuperfície, mas ainda presentes em abundância (Figura 107 e Figura 108).

Figura 107: Presença de concreções (A e B) e cangas ferruginosas na superfície dos campos de murundus (C).



Fonte: Autora

Figura 108: Horizontes de perfil de solo (A) com indicação de camada superficial composta por cascalhos lateríticos (B) e cascalhos lateríticos arredondados (C).



Fonte: Confessor, 2023

Essas estruturas se formam principalmente em condições em que o ferro é mobilizado e reprecipitado. Em ambientes de murundu, que têm microtopografia diferenciada com áreas de elevação e depressões, as condições de umidade variam ao longo do perfil do solo e das estações do ano.

Em épocas chuvosas, o solo fica saturado, especialmente nas áreas de depressão, onde a água tende a se acumular. Nessas condições, o ferro é reduzido e pode se mover pelo perfil do solo, em que na estação seca, o ferro precipita, aglutinando partículas minerais de modo a formar concreções.

Esse processo de formação é favorecido em solos com alternância de ciclos de inundação e secagem, e as concreções ferruginosas tendem a se acumular nas camadas intermediárias do solo, onde a mobilização e o acúmulo de ferro são mais intensos. Essas concreções indicam um ambiente antigo, onde processos de intemperismo intenso e uma dinâmica cíclica de umidade e seca moldaram o solo e a paisagem ao longo do tempo.

A cimentação das partículas do solo pode dificultar a infiltração de água no solo, atuando como uma barreira física em algumas camadas do perfil. Em solos onde a cimentação é acentuada, a água da chuva tem mais dificuldade em penetrar nas camadas



mais profundas, o que pode resultar em uma camada superficial mais úmida e empoçada em períodos chuvosos.

Contudo, locais onde a cimentação ocorreu na forma de concreções ferruginosas, como visualizados em todos os pontos de análise, a formação de cascalhos lateríticos pode atuar no aumento da porosidade do solo devido sua forma arredondada, corroborando para incrementar nas taxas infiltradas (Confessor, 2023). Neste sentido, o mesmo processo de mobilização do ferro e sua posterior cimentação pode impactar de diferentes modos a dinâmica hídrica do sistema murundu.

Além da regulação hídrica, as concreções ferruginosas também atuam como fonte secundária de ferro para a vegetação, e ocasionalmente, de outros micronutrientes cimentados no processo de precipitação do Fe. Ao mesmo tempo, como visto nas áreas de estudos, essas concreções podem adsorver fosfatos e outros nutrientes, reduzindo sua disponibilidade, sequestrando momentaneamente elementos, deixando-os menos disponíveis para as plantas.

Isso pode ser uma limitação para o crescimento de espécies que necessitam de maior carga de nutrientes para se desenvolver, podendo o sistema murundu apresentar seleção de espécies não apenas pelas condições hidrológicas, mas também pela restrição de nutrientes, abrigando plantas mais adaptadas a essas condições de fertilidade.

A presença de concreções também pode conferir maior estabilidade ao solo frente a processos erosivos. Em áreas de murundu, onde a erosão pode atuar ao longo da microtopografia, as concreções podem atenuar a suscetibilidade à erosão, visto que se comportam como uma camada drenante no solo frente a ação das chuvas, reduzindo o escoamento superficial (Confessor et al., 2024), além de atuar como uma barreira física frente a processos erosivos, endossando os dados que corroboram para gênese biológica destas estruturas.

Neste sentido, a presença das concreções associado às condições de drenagem próprias dos Campos de Murundus da Serra atuam como agentes de seleção da distribuição de espécies vegetais, favorecendo aquelas que são mais adaptadas a solos menos férteis e com drenagem restrita, dando origem a fitofisionomia específica campos de murundus (Ribeiro e Walter, 2008).

Além disso, a presença de concreções ferruginosas no solo amplia a variabilidade de suas características, formando micro-habitat em seu interior que podem ser explorados por organismos menores, como insetos, contribuindo para a biodiversidade do ambiente de murundu.

### 7.11 Camadas de Concreções Ferruginosas cimentadas (Cangas)

Assim como as concreções ferruginosas, as Cangas lateríticas também foram amplamente visualizadas nos campos de murundus do Chapadão do Diamante. Diferente das concreções ferruginosas, a canga ferruginosa é uma camada de material cimentado, composta por uma matriz de óxidos de ferro que aglutina e cimenta fragmentos de rocha e outros minerais.

Sua formação é frequentemente associada a processos lateríticos, em ambientes com regime de secagem e umedecimento frequentes, os quais concentram elementos, formando uma camada contínua e consolidada no solo, gerando uma crosta dura, podendo atingir grandes extensões, como a exposta no Ponto 2 (Figura 109).

Figura 109: Presença de camada de Canga no Ponto 2 da área de estudo.



Fonte: Autora

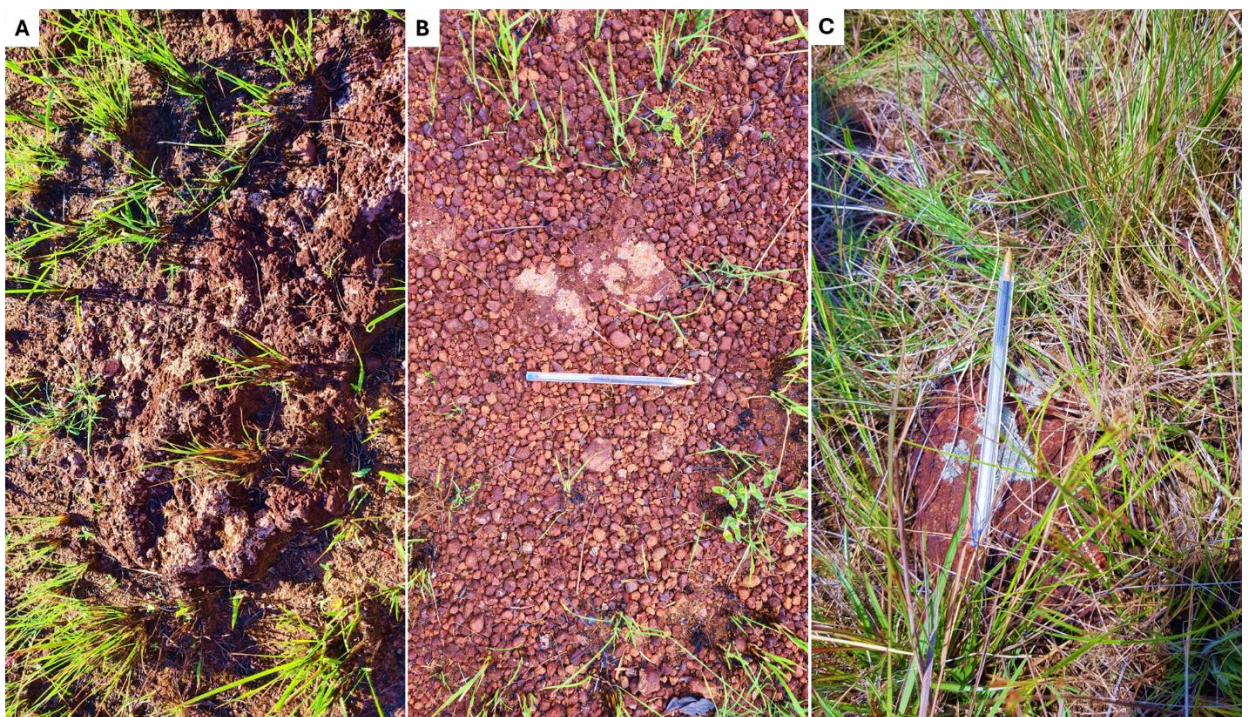
O desenvolvimento desta carapaça ferruginosa ocorre por intemperismo intenso e prolongado, onde há acúmulo de óxidos de ferro e sílica próximos à superfície ou ainda por enriquecimento absoluto. Ao longo do tempo, esses óxidos se aglutinam e formam uma camada endurecida, gerando uma superfície que retarda a erosão e influencia o fluxo de água na paisagem, criando ambientes únicos para a vegetação, favorecendo espécies



adaptadas a solos menos profundos e com baixa disponibilidade de nutrientes (Nahon e Tardy, 1986).

Nos campos estudados, essa condição foi observada em todos os pontos analisados (Figura 110), reforçando sua relevância para a compreensão da dinâmica pedogeomorfológica da área, em que, atuam como atenuantes para ocorrência de processos erosivos, de modo a corroborar com a tese de que os morrotes de murundus são gerados de maneira principal pela ação biológica.

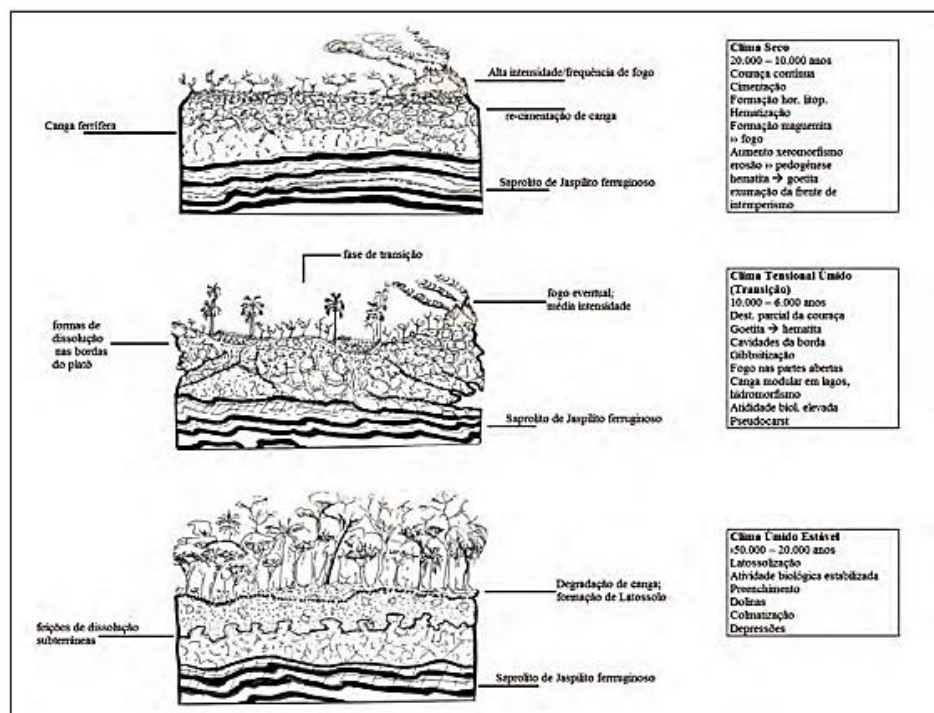
Figura 110: Presença de Cangas Ferruginosas (A) Cascalhos Lateríticos (B) Vegetação de Gramíneas em meio a essas formações (C).



Fonte: Autora.

A dinâmica de formação dessa paisagem é um processo contínuo e condicionado pelas variações climáticas quaternárias, como pode ser observado na ilustração (Figura 111) que representa um ciclo hipotético dessas couraças realizado por Schaefer, 2015. De forma resumida o autor traz que esse processo se inicia com uma fase seca perfazendo com uma fase úmida.

Figura 111: Representação hipotética do ciclo de formação das paisagens de cangas do quaternário.



Fonte: Schaefer, 2015

Nos campos estudados, os processos de formação e degradação da canga ferruginosa parecem seguir uma dinâmica semelhante à descrita por Schaefer (2001). Durante períodos mais úmidos, a canga tende a sofrer degradação, resultando na formação de um Latossolo Concrecionário, cuja profundidade pode variar conforme a intensidade da pedobioturbação promovida pela atividade de organismos do solo, especialmente cupins e formigas.

Essa ação biológica pode contribuir para a seleção e redistribuição de partículas finas, como argilas e siltes, que acabam se acumulando na superfície por meio do processo de triagem biológica, com capacidade de promover a formação de camadas de cascalhos lateríticos, como observados na área de estudos.

Em fases mais secas, observa-se o possível afloramento da canga cimentada (petroplintita) e a predominância de solos rasos com contato litoplântico, indicando um ciclo que pode ter ocorrido repetidamente ao longo do tempo geológico, com duração variável de cada fase e sem atingir um estado de equilíbrio estável.

A presença dessas camadas concrecionárias na base dos campos de murundus do chapadão desempenha um papel importante na impermeabilização do solo. Essa característica reduz a infiltração da água, mantendo o nível freático próximo à superfície,

de modo a influenciar diretamente na dinâmica hídrica e consequente formação dos murundus.

A presença desta camada ferrífera cimentada influencia diretamente na distribuição e no tipo de vegetação que se estabelece nos murundus. As plantas que habitam esses locais são adaptadas a essas condições específicas, como a presença de uma camada endurecida logo abaixo da superfície do solo, que pode restringir o crescimento das raízes, limitar a disponibilidade de nutrientes assim como interferir na dinâmica hídrica do solo (Sommer et al. 2018).

Além disso, as camadas cimentadas atuam como barreiras frente a erosão remontante das vertentes, atuando como impedimento físico ao processo erosivo de modo a corroborar para manutenção das áreas de murundus, conferindo maior estabilidade a esta paisagem, ou seja, garantindo a perenidade dos campos de murundus.

#### **7.12 Vegetação específica dos Sistemas Murundus do Chapadão do Diamante**

As condições específicas de fertilidade, estabilidade do solo, movimentação da água e microtopografia exercem influência direta sobre a exploração biológica dos campos de murundus. Esses fatores moldam a distribuição das comunidades vegetais, onde a microtopografia gerada pelos montículos influencia a composição e distribuição florística dentro dos ambientes de murundus (Marimon et al., 2012). Assim, essas formações contribuem para a organização da vegetação local, favorecendo espécies adaptadas às condições hidrológicas específicas de cada microambiente.

A vegetação da Serra da Canastra é diversificada e inclui formações como Campos Rupestres, Campos Limpos, Campos Sujos, Cerrado Sentido Restrito, Cerradão, além de Matas de Galeria e Ciliares. Estudos conduzidos por Nakajima e Semir (2001) indicam que a família Asteraceae é a mais representativa na região, com 215 espécies distribuídas em 66 gêneros e 11 tribos. Essa família se destaca por sua ampla diversidade e presença em ecossistemas abertos e campestres (Heiden, 2014).

Nos campos de murundus analisados, a vegetação acompanhou essa tendência, apresentando uma composição variada com espécies herbáceas e arbustivas adaptadas às condições edáficas e climáticas locais. Esse padrão também foi descrito em outras áreas do Cerrado (Eiten, 1985; Furley & Ratter, 1988; Oliveira-Filho & Furley, 1990). Dentre as espécies encontradas, destacam-se representantes das famílias Asteraceae,



Melastomataceae e Eriocaulaceae, além de gramíneas como *Echinolaena* spp. e espécies endêmicas como as Sempre-vivas.

A distribuição da vegetação nos murundus do chapadão está diretamente ligada às condições edáficas e hidrológicas, sendo composta por espécies tolerantes à sazonalidade climática, solos ácidos e baixa disponibilidade de nutrientes assim como resistentes a ação do fogo (Goodland, 1971;1979; Araújo et al., 1998;1999; Pires Júnior, 2017). Essas características influenciam não apenas a composição florística, mas também os padrões de dominância e sucessão ecológica, contribuindo para a complexidade estrutural dentro de cada campo de murundus.

Nos seis pontos estudados, a vegetação apresentou uma composição similar, com espécies recorrentes, como a gramínea *Echinolaena* spp., amplamente distribuída nos campos de murundus. Entretanto, nos pontos 2 e 6 foram registrados uma maior diversidade de espécies, possivelmente devido a variações locais nas condições ambientais ou ao histórico de perturbação das áreas, como menor ocorrência de incêndios.

A vegetação dos pontos estudados caracteriza-se por uma rica diversidade de espécies, exibindo gramíneas, herbáceas, arbustivas e algumas lenhosas (Figura 112), refletindo a adaptação a solos pobres em nutrientes, alta luminosidade e regimes de fogo frequentes, fatores típicos do bioma Cerrado.

Figura 112: Representação da vegetação dos campos de murundus (a- p6), (b- p4), (c/d/e- p2) com espécies herbáceas, arbustivas e lenhosas.



Fonte: Autora



Dentre as gramíneas encontradas, destacam-se espécies dos gêneros *Andropogon* e *Schizachyrium*, comuns em áreas abertas de Cerrado, sendo resistentes ao fogo e à baixa fertilidade do solo. O gênero *Echinolaena*, incluindo o capim-flechinha (*Echinolaena spp.*), que ocorre amplamente, possuindo adaptações à seca, na qual desempenha papel essencial na dinâmica do fogo nesses ecossistemas, incrementando a biomassa e aumentando a quantidade de material comburente no sistema, possuindo rápida recuperação após queima.

A família *Eriocaulaceae* foi amplamente encontrada, com espécies dos gêneros *Paepalanthus*, *Syngonanthus* e *Eriocaulon*, plantas também adaptadas à baixa fertilidade e alta incidência solar. Algumas espécies desse grupo ocorrem em áreas com drenagem deficiente, enquanto outras estão associadas a ambientes rupestres.

No grupo das *Asteraceae*, destacam-se espécies dos gêneros *Vernonia* e *Baccharis*, ambas frequentes em áreas abertas do Cerrado. Já entre as *Melastomataceae*, observou-se a presença de *Miconia albicans* e *Miconia pepericarpa*, plantas de folhas opostas e nervuras marcantes, algumas das quais apresentam pilosidade para reduzir a perda de água, uma adaptação a solos pobres e bem drenados.

No estrato arbustivo e lenhoso, sobressaem-se espécies dos gêneros *Qualea* e *Byrsonima*, comuns em formações de campo sujo do Cerrado. Em especial, *Byrsonima verbascifolia* (murici) amplamente distribuída nesses ambientes e altamente resistente à seca e ao fogo, além de fornecer frutos importantes para a fauna local. Outras espécies incluem *Vellozia spp.* (canela-de-ema), uma planta típica de solos ácidos e áreas rupestres, e *Gomphocarpus* ou *Asclepias*, da família *Apocynaceae*, conhecidas como "algodão-de-seda" ou "erva-leiteira" devido à seiva leitosa que destilam.

Outras espécies menos frequentes nos pontos analisados incluem representantes dos gêneros *Baccharis* e *Trembleya parviflora* (D. Don) Cogn., já documentadas na região (Silva; Silva, 2018). Além disso, espécies herbáceas como *Melinis minutiflora* (capim-melão) (Figura 113), *Aspilia sp.* e *Stomatanthus sp.* (*Asteraceae*) foram registradas em estudos anteriores na Serra da Canastra (Romero & Nakajima, 1999; Santana et al., 2011), demonstrando sua presença recorrente na vegetação do local.

Figura 113: *Melinis minutiflora*, popularmente conhecida como capim-melão encontrada em campos de murundus.



Fonte: Autora

Neste sentido, fica evidente que a vegetação dos murundus exibe elevada adaptação às condições ambientais, incluindo fogo, solos distróficos e variações na saturação hídrica. Na Figura 114, observa-se uma espécie de Sempre-viva (*Vellozia spp.* ou *Eriocaulon*), que se destaca pela resistência ao fogo. Enquanto a vegetação circundante foi afetada por incêndio recente, essa espécie recuperou-se de forma rápida, mantendo sua coloração verde e estrutura firme. Esse comportamento sugere uma adaptação evolutiva importante, possivelmente relacionada a mecanismos de proteção, como tecidos resistentes ou capacidade de rebrotar rapidamente.

Figura 114: Espécie de Sempre viva encontrada nos pontos de análise após episódio de queima nos campos de murundus.



Fonte: Autora

Além disso, nota-se uma possível relação ecológica entre essa espécie e os cupins, visto que os ninhos desses insetos frequentemente aparecem junto à base desta espécie (Figura 115). Ainda não está claro se os cupins utilizam a estrutura da planta como suporte para a construção de seus ninhos ou se a planta se estabelece preferencialmente sobre os cupinzeiros. No entanto, essa interação pode ser vantajosa para ambos, pois os cupins podem encontrar proteção e estabilidade estrutural na planta, enquanto a sempre-viva pode se beneficiar dos nutrientes oriundos da atividade dos cupins no solo.



Figura 115: Relação mútua de coabitação entre vegetação e ninhos de cupins.

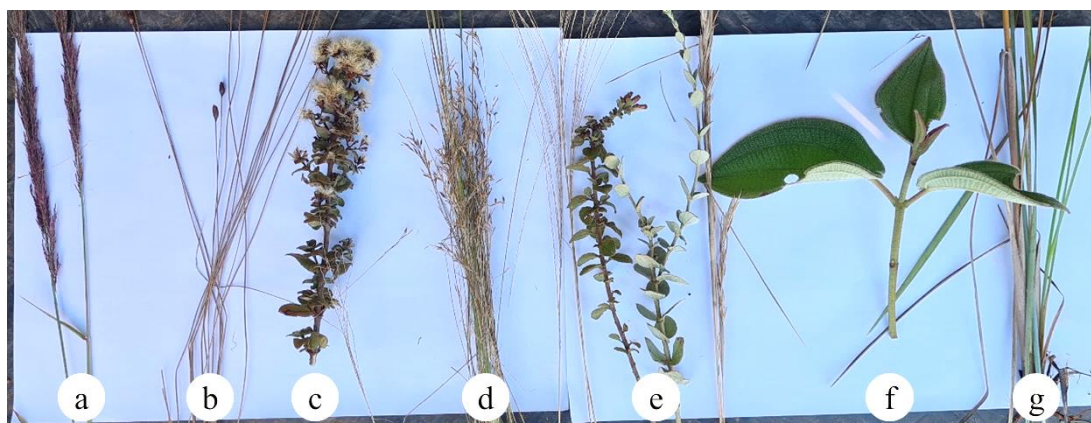


Fonte: Autora

Devido a maior diversidade de espécies encontradas no ponto 2, foi possível a realização de um levantamento mais detalhado, sendo estas visualizadas na Figura 116. A composição florística encontrada reforça a importância dos campos de murundus como ambientes especializados dentro do Cerrado, desempenhando um papel na manutenção da biodiversidade.



Figura 116: Levantamento das espécies vegetativas encontradas no ponto 2.



Fonte: Autora

a) Gramínea do gênero *Andropogon* ou *Schizachyrium*, comuns em áreas de cerrado, essas gramíneas possuem inflorescências alongadas e frequentemente de coloração escura. Elas são bem adaptadas a ambientes com baixa disponibilidade de nutrientes e são resistentes ao fogo.

b) Pertencente à família *Eriocaulaceae*, como *Paepalanthus*, essas plantas são típicas de áreas com solos arenosos e pobres, como campos rupestres e murundus, e são bem adaptadas a condições de alta luminosidade e baixa umidade.

c) Pertencente à família *Asteraceae* -*Vernonia*, são conhecidas por suas inflorescências densas e são comuns em várias formações vegetais do cerrado, especialmente em áreas mais abertas e ensolaradas.

d) Arbusto do gênero *Baccharis* (*Asteraceae*), frequente encontrado em ambientes de cerrado, adaptados a solos ácidos e arenosos.

e) Espécie de *Miconia* (*Melastomataceae*) apresentam folhas opostas com uma característica nervura marcante e são comuns em cerrados e campos rupestres, especialmente em solos pobres e com boa drenagem.

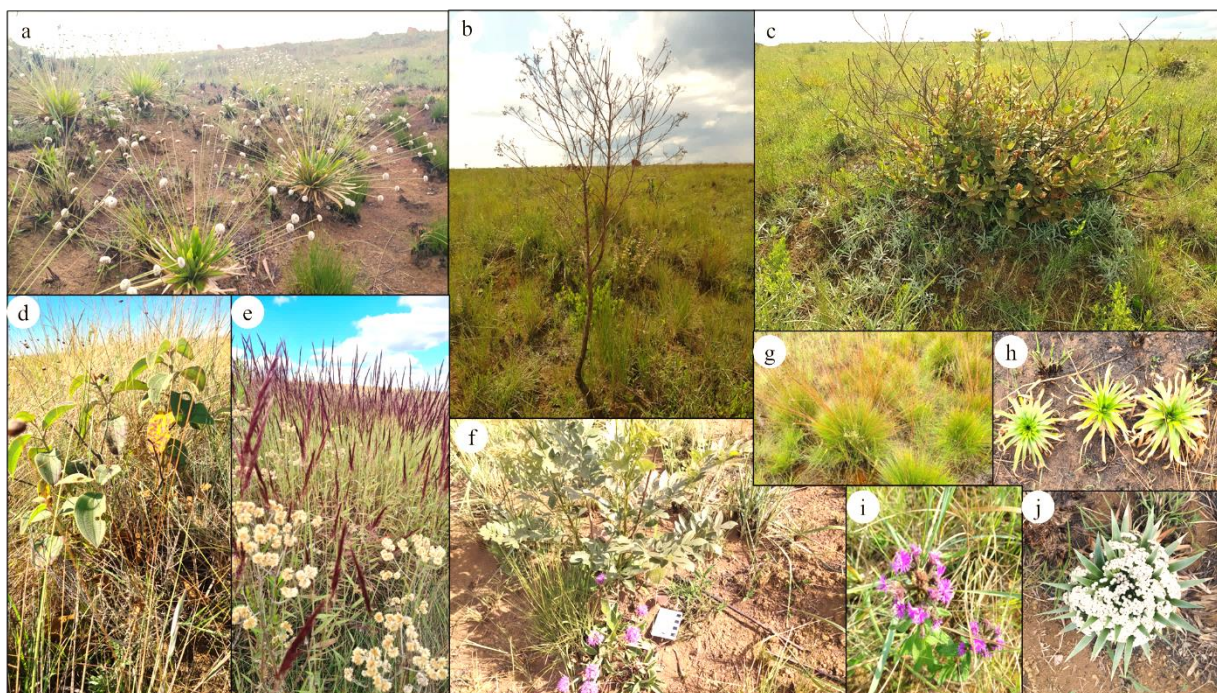
f) Espécie de *Miconia*, também da família *Melastomataceae*. As folhas pilosas ajudam na proteção contra a perda de água, sendo uma adaptação importante em regiões de cerrado.

g) *Echinolaena* ssp, gramínea adaptada ao Cerrado, resistente a solos pobres, altas temperaturas e seca, com raízes profundas para acessar água. Essencial no regime de fogo do bioma, ela se regenera rapidamente após queimadas, contribuindo para o equilíbrio ecológico e oferecendo forragem para herbívoros.

Além das espécies mencionadas, a Figura 117 retrata as principais encontradas nos campos de murundus em geral, culminando em um mix de espécies de gramíneas,

herbáceas e arbustivas, demonstrando a heterogeneidade de plantas presentes nesta fitofisionomia.

Figura 117: Levantamento fotográfico das espécies vegetativas de maior ocorrência nos campos dos seis pontos coletados.



Fonte: Autora

Neste sentido, de maneira geral, foi observado um padrão ecológico entre a vegetação e as áreas de murundus, caracterizado por adaptações a condições ambientais singulares, como resistência ao fogo, tolerância a solos distróficos e ácidos, alta exposição solar e variações hídricas significativas ao longo do ano, alternando entre períodos de alta umidade e estiagem.

Essas características reforçam a seleção natural de espécies capazes de se desenvolver nas condições particulares dos campos de murundus do chapadão, gerando uma estratificação vegetativa bem definida, tanto em comparação com áreas circundantes quanto dentro da própria fitofisionomia.

### 7.13 Função ecológica dos Campos de Murundus

Os campos de murundus do Chapadão do Diamante desempenham um papel ecológico importante nos locais onde se inserem, servindo como refúgio para diversas



espécies de animais e contribuindo para a complexidade ecológica da região. Neste sentido, esta fitofisionomia desempenha um papel de manutenção da biodiversidade do sistema.

Dentre os animais encontrados nesses ambientes, notou-se a maior presença e recorrência de térmitas (Figura 118). A abundância desses insetos indica a intensa atividade biológica nos murundus, que servem como habitat primário para esses organismos. Além disso, a presença de térmitas favorece a atração de predadores especializados, como tamanduás, que frequentemente escavam os montículos em busca de alimento.

Figura 118: Ninho de térmitas recente sobre superfície de cascalhos lateríticos nos pontos analisados.



Fonte: Autora.

Esse processo não apenas altera a estrutura dos ninhos, mas também contribui para sua degradação e renovação, auxiliando na acreção de materiais nos morrotes de murundus, de modo a alterar seu volume e composição de seu solo, contribuindo para seu crescimento.

Verificou-se que também que os murundus oferecem abrigo a uma grande diversidade de organismos (Figura 119; Figura 120 e Figura 121), desde invertebrados, como aranhas, abelhas, grilos e outros insetos até vertebrados de diferentes portes, incluindo corujas, cobras, tatus, tamanduás, lobos-guará e aves como os carcarás. Assim, essas estruturas tornam-se ambientes estratégicos para o descanso, prospecção de alimentos e proteção contra predadores.

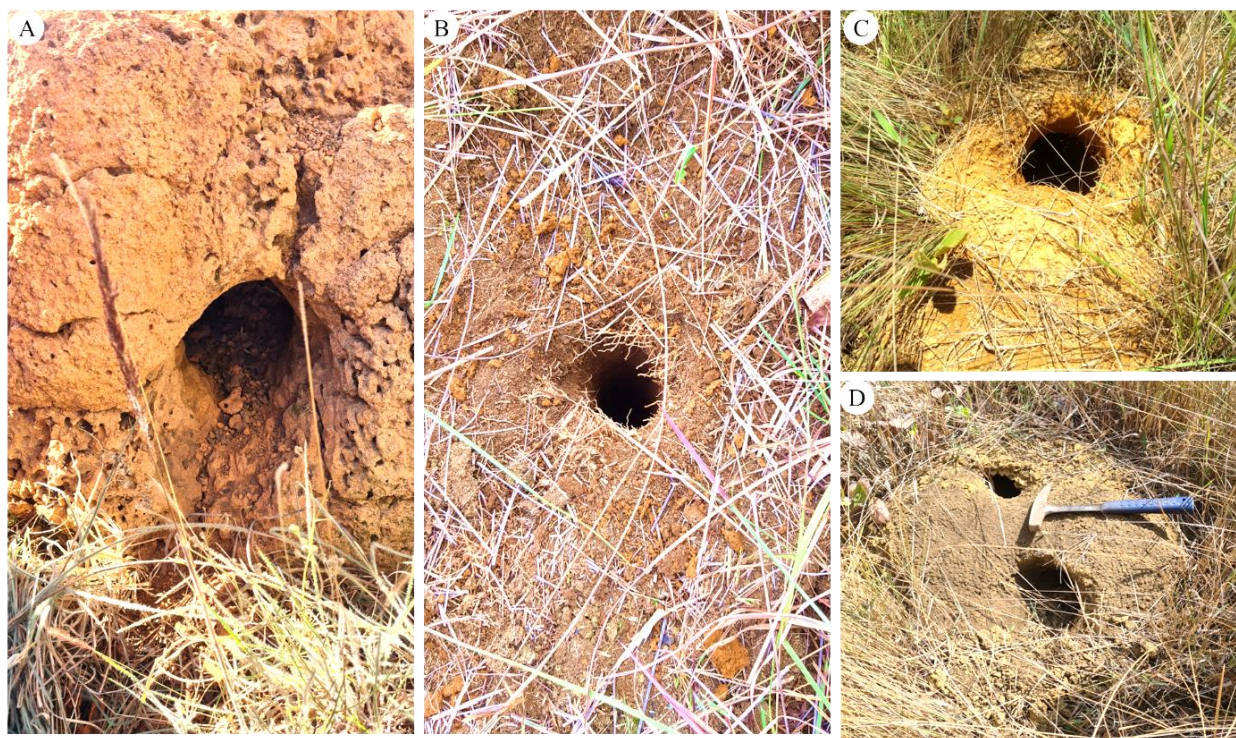


Figura 119: Diversidade da Fauna encontrada nos campos de murundus.



Fonte: Autora

Figura 120: Tocas de animais em ninhos de térmitas.



Fonte: Autora



Figura 121: Diversidade da Fauna dos campos de murundus (A e E) Veado-campeiro (*Ozotoceros bezoarticus*) (B) Lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*) (C e D) Tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*) (F) Cupinzeiro com presença de espécie de cobra não identificada



Fonte: (Fotos A à E) Autora (Foto F) Acervo Herbe Luis Prado.

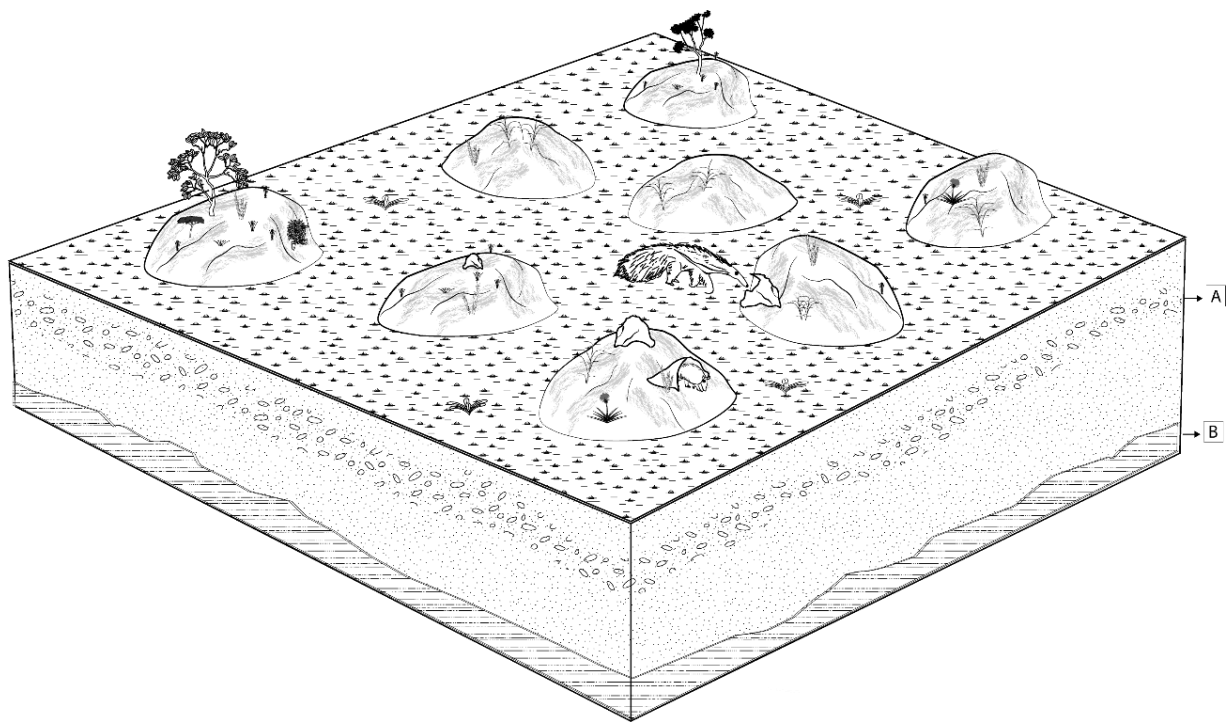
A relação entre os murundus e a fauna local reforça sua importância como elementos estruturantes do ecossistema. Além da interação direta entre os cupins e seus predadores, a áreas dos campos de murundus favorece o crescimento de certas espécies vegetais, que, por sua vez, atraem herbívoros e polinizadores. Esse efeito cascata contribui para a heterogeneidade ecológica da paisagem, promovendo maior diversidade biológica.

Estudos, como os de Pinheiro et al. (2013) e Paulino et al. (2015), apontam que a presença dessas estruturas nos ambientes de Cerrado é essencial para a estabilidade ecológica dessas paisagens. Trabalhos de Redford (1984) e Costa et al. (2009) reforçam ainda mais a importância dos murundus como pontos de refúgio e alimentação para uma ampla gama de espécies.

Assim, os campos de murundus do Chapadão do Diamante não apenas sustentam a fauna local, mas também desempenham um papel importante no abrigo de animais que fazem uso de suas áreas de maneira esporádica, se tornando um ambiente que contribui para manutenção da biodiversidade, de modo a auxiliar na regulação dos processos ecológicos existentes entre as diferentes fitofisionomias do Cerrado.

De forma integrada, esses elementos resultam em uma paisagem singular, onde a interação entre processos geomorfológicos e ecológicos molda um ambiente dinâmico e complexo. A distribuição dos murundus, aliada à variação da cobertura vegetal e à presença da fauna, compõe um mosaico característico que reflete a interdependência entre os fatores bióticos e abióticos na construção dessa paisagem única (Figura 122).

Figura 122: Paisagem dos Campos de Murundus do Chapadão do Diamante, evidenciando a disposição dos montículos e sua importância ecológica.



Legenda: (a) nível de cascalho (b) representação da rocha.

Fonte: Autora

---

## *CONSIDERAÇÕES FINAIS*

---



*“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens,  
mas em ter novos olhos” (Marcel Proust).*



## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu uma análise detalhada sobre as características físicas, químicas e biológicas dos Campos de Murundus no Chapadão do Diamante, destacando a influência da geomorfologia, hidrologia e bioturbação na formação e dinâmica desses ambientes. A seleção dos pontos amostrais revelou diferenças significativas entre os murundus e as áreas entre murundus, tanto em relação à composição granulométrica quanto às propriedades químicas do solo.

Os resultados evidenciaram que os solos dos murundus apresentam maior concentração de frações finas, como silte e argila, em comparação às áreas entre murundus, que possuem um teor mais elevado de areia. Essa diferença está possivelmente associada à atividade biológica das térmitas, que selecionam particulados finos para a construção de seus ninhos, resultando em solos mais coesos nos murundus.

A caracterização química dos solos indicou que tanto os murundus quanto as áreas entre eles são altamente ácidos, distróficos e apresentam baixa fertilidade natural. A elevada concentração de ferro nos solos estudados reflete processos de intemperismo intenso e formação de concreções ferruginosas, especialmente nas camadas superficiais. Além disso, a baixa disponibilidade de fósforo e a alta saturação por alumínio destacam a natureza limitante desses solos para plantas mais exigentes, reforçando sua importância na segregação da vegetação nativa.

A interação entre fatores geológicos, pedológicos e biológicos permite gerar a paisagem singular fitofisionômica dos Campos de Murundus no Cerrado. A influência das térmitas na formação dos murundus ficou evidente, atuando como agentes modeladores da paisagem e contribuindo para a estruturação dos solos. Além disso, a presença de horizontes endurecidos e concreções lateríticas indica processos históricos de variação do nível freático, que moldaram as características físico-químicas desses solos ao longo do tempo.

Dessa forma, este estudo contribui para o entendimento da dinâmica dos Campos de Murundus, fornecendo subsídios para futuras pesquisas sobre sua formação, evolução e implicações ambientais. Os resultados obtidos também ressaltam a necessidade de medidas de conservação para preservar esses ecossistemas únicos, garantindo sua integridade e função ecológica dentro do bioma Cerrado.

A importância dessa fitofisionomia torna-se evidente ao considerar sua vasta distribuição no Brasil e no mundo. Os campos de murundus, caracterizados por uma

grande diversidade de solos, espécies vegetais, microbiota e outros fatores, demonstram a necessidade de continuidade nas pesquisas e do aprofundamento do conhecimento já existente. Análises isoladas de alguns atributos do solo não são suficientes para proporcionar uma compreensão abrangente desse ambiente complexo. Dessa forma, recomenda-se que os estudos sobre essa fitofisionomia abranjam não apenas os aspectos físicos e químicos do solo, mas também os bioquímicos, além da ecologia (fauna e flora), do comportamento hídrico ao longo do tempo e outros fatores. Isso permitirá compreender melhor a vulnerabilidade dessas áreas e os impactos dos sistemas de manejo aos quais estão submetidas.

## 9 REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário** – São Paulo, Universidade de São Paulo. Instituto de Geografia. Coleção "Geomorfologia" nº 18, p. 1-14, 1969.
- ABE, T; BIGNELL, D. E.; HIGASHI, M. (Ed.). **Cupins: evolução, sociabilidade, simbioses, ecologia**. Springer Ciência e Mídia de Negócios, 2000.
- AB'SABER, A. N. Contribuição à Geomorfologia do Estado de São Paulo. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, 1958.
- ALHO, C. J. R.; PÁDUA, L. F. M. Sincronia entre o regime de vazante do rio e o comportamento de nidificação da tartaruga da Amazônia *Podocnemis expansa* (Testudinata: Pelomedusidae). *Acta Amazonica*, v. 12, n. 2, p. 323–326, jun. 1982.
- ALMEIDA, B. G. de; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BRAIDA, J. A.; VIANA, J. H. M.; REICHERT, J. M. M.; OLIVEIRA, L. B.; CEDDIA, M. B.; WADT, P. S.; FERNANDES, R. B. A.; PASSOS, R. R.; DECHEN, S. C. F.; KLEIN, V. A.; TEIXEIRA, W.G. Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012. 11 p. (Embrapa Solos. Comunicado técnico, 66).
- ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor do solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. *Ciência do Solo*, vol. 27, n. 6, p. 985-1002, 2003.
- ALONI, K. E SOYER, J. Cycle des matériaux de construction des termitières d'humivores en savane au Shaba méridional (Zaire). **Revue de zoologie africaine** (1974), 101(3), 329-357, 1987.
- ANACLETO, T. C. S.; MARINHO-FILHO, J. Hábito alimentar do tatu-canastra (*Xenarthra*, *Dasypodidae*) em uma área de cerrado do Brasil Central. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 18, n. 3, p. 681–688, set. 2001.
- ANDERSON, J.M; WOOD, T.G. Mound composition and soil modification by two soil-feeding termites (*Termitidae*, *Termitinae*) in a riparian Nigerian forest. **Pedobiologia** 26, 77-82. 1984.
- ANTUNES, P.D.; FIGUEIREDO, L.H.A.; SILVA, J.F.; KONDO, M.K.; SANTOS-NETO, J.A. dos; FIGUEIREDO, M.A.P. 2012. Caracterização físico-química de micro-relevo de montículos "murundus" na região de Janaúba no norte de Minas Gerais. *Geonomos*, 20: 81-85.
- ANYANGO, J.J., BAUTZE, D., FIABOE, K.K.M. et al. The impact of conventional and organic farming on soil biodiversity conservation: a case study on termites in the long-term farming systems comparison trials in Kenya. **BMC Ecol** 20, 13, 2020. <https://doi.org/10.1186/s12898-020-00282-x>
- ARAÚJO NETO, M. D. **Solos, água e relevo dos campos de murundus na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado em Biologia) Departamento de Biologia Vegetal, Universidade de Brasília, Brasília, 1981.

ARAÚJO, F. S.; MARTINS, F. R. Fisionomia e organização da vegetação do Carrasco no Planalto da Ibiapaba, Estado do Ceará. **Acta Botanica Brasilica**, Brasília, v. 13, n. 1, p. 1-13, 1999.

ARAÚJO, F. S.; MARTINS, F. R.; SHEPHERD, G. J. Variações estruturais e florísticas do Carrasco no Planalto da Ibiapaba, Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v. 59, n. 4, p. 663-678, 1999.

ARAÚJO, F. S.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODAL, M. J. N.; FIGUEIREDO, M. A. Organização comunitária do componente lenhosos de três áreas de Carrasco em Novo Oriente, CE. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v. 58, n. 1, p. 85-95, 1998.

ARAÚJO, G. M.; HARIDASAN, M. A comparison of the nutritional status of two forest communities on mesotrophic and dystrophic soils in Central Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 19, p. 1075-1089, 1989.

ASKEW, G. P.; MOFFATT, D. J.; MONTGOMERY, R. F.; SEARL, P. L. Interrelationships of soils and vegetation in the savanna-forest boundary zone of north-eastern Mato Grosso. *The Geographical Journal*, v. 136, n. 3, p. 370-376, 1970. DOI: [10.2307/1795187](https://doi.org/10.2307/1795187)

ATEN, L. E.; BOLLICH, C. N. Archeological evidence for pimple (prairie) mound genesis. **Science**, v. 213, n. 4514, p. 1375-1376, 1981.

B.D. ABATUROV, The role of burrowing animals in the transport of mineral substances in the soil, *Pedobiologia*, Volume 12, Issue 4, Pages 261-266, ISSN 0031-4056, [https://doi.org/10.1016/S0031-4056\(23\)02043-7](https://doi.org/10.1016/S0031-4056(23)02043-7), 1972.

BAKER, B. H. Geology of the Mount Kenya area; degree sheet 44 N.W. quarter (with coloured map). Nairóbi: Serviço Geológico do Quênia, 1967.

BANDEIRA, A.G.; TORRES, M.F.P. Abundância e distribuição de invertebrados do solo em ecossistemas da Amazônia Oriental. O papel ecológico dos cupins. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi série zoológica**, 2, 13 - 38, 1985.

BAPTISTA, G. DE M., CORRÊA, R. S., & SANTOS, P. F. DOS. Campos de murundus da Fazenda Água Limpa da UnB: hipóteses de origem. **Revista Do CEAM**, 47-60 2(1), 2013. <https://periodicos.unb.br/index.php/revistadoceam/article/view/10076>

BECKER, T.; GETZIN, S. The fairy circles of Kaokoland (North-West Namibia) origin, distribution, and characteristics. **Basic and Applied Ecology**, v. 1, n. 2, p. 149-159, 2000.

BENSUSAN, Nurit. **Conservação da biodiversidade em áreas protegidas**. FGV Editora, 2006.

BERG, Andrew W. Formation of Mima mounds: a seismic hypothesis. **Geology**, v. 18, n. 3, p. 281-284, 1990.

BERTRAND M, BAROT S, BLOUIN M, WHALEN J, OLIVEIRA T, ROGER-ESTRADE J. Earthworm services for cropping systems. A review. **Agron Sustain Dev** 35(2):553–567, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0269-7>

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. Editora UFPR. Curitiba, v. 8, p. 141–152, 2004.

BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. Caderno de Ciências da Terra, n. 13, p. 1-27, 1969.

BIGNELL DE, EGGLETON P. Termites in ecosystems. In: Abe T, Bignell DE, Higashi M (eds) Termites: evolution, sociality, symbiosis, ecology. **Kluwer Academic Publishers, Dordrecht**. 2000; [https://doi.org/10.1007/978-94-017-3223-9\\_17](https://doi.org/10.1007/978-94-017-3223-9_17)

BONACHELA JA, PRINGLE RM, SHEFFER E, COVERDALE TC, GUYTON JA, CAYLOR KK, LEVIN SA, TARNITA CE. Os cupinzeiros podem aumentar a robustez dos ecossistemas de terras áridas às alterações climáticas. **Ciência** **347**, 651-655, 2015. <https://doi:10.1126/science.1261487>

BOURGEOIS, J. Hummocks—Do They Grow? **AAPG Bulletin**, v. 67, n. 3, p. 428-428, 1983.

BOYER, P. Quelques aspects de l'action des termites su sol sur les argiles. **Clay Minerals** **17**, 453- 462, 1982.

BRAUMAN, A., BIGNELL, D.E., TAYASU, I. Soil-Feeding Termites: Biology, Microbial Associations and Digestive Mechanisms. In: Abe, T., Bignell, D.E., Higashi, M. (eds) **Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology**. Springer, Dordrecht, p. 233-259, 2000. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-3223-9\\_11](https://doi.org/10.1007/978-94-017-3223-9_11)

BRINKMANN, M. et al. A comunidade de cianobactérias de solos poligonais em um nunatak no interior da Antártica. **Biologia Polar**, v. 30, pág. 1505-1511, 2007.

BROWN, G. G. et al. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. 2015.

CANCELLO, E.M. **Revisão de Cornitermes Wasmann (Isoptera, Termitidae, Nasutitermitinae)**. Tese (Doutorado em Zoologia) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, SP, 151f. 1989.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p 147-157, 2009.

CARPENTER, C. C. The Bullsnake as an Excavator. *Journal of Herpetology*, v. 16, n. 4, p. 394, dez. 1982.

CASTRO JÚNIOR, P.R. **Dinâmica da água em campos de Murundus do planalto dos Parecis**. 193f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade de São Paulo, SP, 2002.

CATANOZI, G. Importância dos aspectos ecológicos na análise qualiquantitativa da macrofauna edáfica. **Revista da Universidade Ibirapuera**, 2011.



CHEIK, S. et al. Bioturbation by dung beetles and termites. Do they similarly impact soil and hydraulic properties?. **Pedobiologia**, v. 95, p. 150845, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2022.150845>.

CHEIK, Sougueh et al. Efeitos da atividade de forrageamento de cupins nas propriedades físicas da camada superficial do solo e na infiltração de água no Vertisol. **Ecologia Aplicada do Solo**, v. 133, p. 132-137, 2019.

CHOOSAI C, MATHIEU J, HANBOONSONG Y, JOUQUET P (2009) Termite mounds and dykes are biodiversity refuges in paddy fields in north-eastern Thailand. *Environ Conserv* 36(1):71–79. <https://doi.org/10.1017/S0376892909005475>

COLE, M. M. A savana brasileira. **Boletim Carioca de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 11, p. 5- 52, 1958.

COLE, M. M. Cerrado, Caatinga and Pantanal: the distribution and origin of the savanna vegetation of Brazil. **The Geographical Journal**, London, v. 136, n. 2, p. 168-179, 1960.

COLE, M. M. **The savannas**: biogeography and geobotany. London: Academic Press, 1986. 438 p.

COLLINET, J. Contribution a l'étude des “stone-lines” dans la région du Moyen-ogooué (Gabon). *Cahiers ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. VII, nº. 1, 1969.

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 Gomes; SILVA, Lara Luiza; RODRIGUES, Silvio Carlos. Dinâmica hídrica do solo de fitofisionomia de campo limpo do Parque Nacional da Serra da Canastra-MG. **Caderno de Geografia**, v. 34, n. 76, p. 2318-2962.2024, 2024.

CONFESSOR, J.G., SILVA, L. L., MACHADO D. F. T., FERREIRA, I, M; LADEIRA, F, S, B. e RODRIGUES, S.C. (2025). Dinâmica Hídrica do Solo de Campo de Murundus do Parque Nacional da Serra da Canastra - MG .*Revista Brasileira De Geografia Física*, 18(1), 181–199. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v18.1.p181-199>

CONSTANTINO, R.; ACIOLI, A. N. S. Diversidade de Cupins (Insecta: Isoptera) no Brasil. *Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros*, p. 278-297, 2008.

CORRÊA, G. F. 1989. Les microreliefs murundus et leur environnement pedologique dans l'ouest du Minas Gerais, regio do Planalto Central Brasileiro. Université de Nancy I, 144p (Tese de Doutorado).

CORREIA, J.; REATTO. A.; SPERA, S. T. Solos e suas relações com o uso e o manejo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Org). *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, p. 29-61.

COUTINHO, L. M. As queimadas e seu papel ecológico. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 10, n. 44, p. 723, 1980.

- COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasilica**, Brasília, v. 20, n. 1, p. 13-23, 2006.
- COUTINHO, L. M. O conceito de Cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 17-23, 1978.
- COVENTRY, R.J., HOLT, I.A. & SINCLAIR, D.F. (1988) Nutrient cycling by mound-building termites in low-fertility soils of semi-arid tropical Australia. *Australian Journal of Soil Research* 26, 375-390
- COX, G. W.; SCHEFFER, V. B. Pocket gophers and mima terrain in North America. *Journal of Mammalogy*, v. 50, n. 1, p. 68-84, 1942.
- COX, G.W. The distribution and origin of mima mound grasslands in San Diego County, California. **Ecology**, v. 65, p. 1397-1405, 1984.
- CRAMER MD, INNES SN, MIDGLEY JJ. 2012 Evidências concretas de que os montes de terra heuweltjie são características relíquias produzidas por erosão diferencial. **Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.** **350**, 189-197  
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.06.030>
- CRAMER MD, VON HOLDT JR, UYS VM, MIDGLEY JJ. 2017 The present and likely past climatic distribution of the termite *Microhodotermes viator* in relation to the distribution of heuweltjies. **J. Arid Environ.** **146**, 35-43.  
[doi:10.1016/j.jaridenv.2017.07.010](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.07.010)
- CRAMER, M. D.; MIDGLEY, J. J. The distribution and spatial patterning of mima-like mounds in South Africa suggests genesis through vegetation induced aeolian sediment deposition. *Journal of Arid Environments*, v. 119, p. 16-26, 2015.
- CUNHA. C. N.; CAMPOS, M. M.; SILVA, M. Q. Estudos biológicos preliminares de uma área de Cerrado inundável, transição entre Cerrado e Pantanal. Cuiabá: Universidade Federal do Mato Grosso, 1983.
- CUNHA, Luís et al. Animais do solo e pedogênese: o papel das minhocas em solos antropogênicos. **Ciência do Solo** , v. 3/4, pág. 110-125, 2016.
- DALQUEST, Walter W.; SCHEFFER, Victor B. The origin of the Mima mounds of western Washington. **The Journal of Geology**, v. 50, n. 1, p. 68-84, 1942.
- DARLINGTON, J. P. E. C. & DRANSFIELD, R. D. (1987). Size relationships in nests populations and mound parameters in the *Macrotermes michaelsoni* in Kenya. *Insect Soc*, 34, 165-180.
- DARLINGTON, J. P. E. C. (2011). Termites (Isoptera) as secondary occupants in mounds of *Macrotermes michaelsoni* (sjostedt) in Kenya. *Insectes Sociaux*, on line.
- DARLINGTON, J.P. (2007) Arena nests built by termites in the Masai Mara, Kenya. *East African Journal of Natural History*, 96, 73-81.
- DARWIN, Charles. The formation of vegetable mould, through the action of worms, with observations on their habits. London: John Murray, 1881.

DE ARAUJO BARBOSA, Jaqueline et al. Alelopatia do extrato aquoso de *Pachyrhizus erosus* L. sobre *Euphorbia heterophylla* e *Bidens pilosa*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 59-65, 2018.

DE ARAÚJO NETO, M. Diniz et al. Os murundus da região do cerrado do Brasil Central. **Revista de Ecologia Tropical**, v. 1, pág. 17-35, 1986.

DE CÁSSIA SILVA, C.; MEIRA ARRUDA, D.; SANTOS FONSECA, R. Relação espécie-área em campos de murundus com diferentes históricos de perturbação. **Revista de Biologia Neotropical / Journal of Neotropical Biology**, Goiânia, v. 13, n. 1, p. 250–260, 2016. DOI: 10.5216/rbn.v13i1.36705. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/RBN/article/view/36705>. Acesso em: 18 out. 2023.

DE JESUS, Grazielle Nogueira et al. Estrutura da paisagem e processos pedogenéticos em área de Campo de Murundus na Chapada Uberaba-Uberlândia-MG. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 4449-4460, 2017.

DEACON, R. M. J. Digging and marble burying in mice: simple methods for in vivo identification of biological impacts. *Nature Protocols*, v. 1, n. 1, p. 122–124, 27 jun. 2006.

DEBRUYN, LAL, & CONACHER, AJ. Soil modification by termites in the central wheat-belt of Western-Australia. **Australian Journal of Soil Research**, 33(1), 179, (1995).

DIAZ, N.; DIETRICH, F.; CAILLEAU, G.; SEBAG, D.; NGATCHA, B. N.; VERRECCHIA, E. P. Can mima-like mounds be Vertisol relics (Far North Region of Cameroon, Chad Basin)? *Geomorphology*, v. 261, p. 41-56, 2016.

DIAZ, Nathalie et al. Can mima-like mounds be Vertisol relics (Far North Region of Cameroon, Chad Basin)? *Geomorphology*, v. 261, p. 41-56, 2016.

DIBNER, R.R., DOAK, D.F. & LOMBARDI, E.M. (2015) An ecological engineer maintains consistent spatial patterning, with implications for community-wide effects. *Ecosphere*, 6(9), 151.

DIXON, John C. Aridic soils, patterned ground, and desert pavements. In: **Geomorphology of desert environments**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2009. p. 101-122.

DU TOIT, Alexander Logie. **The Geology of South Africa**. Oliver and Boyd, 1954.

EDELMAN, C. H.; BRINKMAN, R. Physiography of gilgai soils. **Soil Science**, v. 94, n. 6, p. 366-370, 1962.

EGGLETON, P. et al. Termite assemblage, forest disturbance and greenhouse gas fluxes in Sabah, East Malaysia. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v.354, p.1791-1802, 1999.

EGGLETON, P. et al. The diversity, abundance and biomass of termites under differing levels of disturbance in the Mbalmayo Forest Reserve, southern Cameroon. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v.351, p.51- 68. 1996.

EITEN, G. Delimitação do conceito de Cerrado. **Arquivos do Jardim Botânico**, Rio de Janeiro, v. 21, p. 125-134, 1977.

EITEN, G. Formas fisionômicas do Cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 139-148, 1979.

EITEN, G. Habitat flora of Fazendinha Campininha, São Paulo, Brazil. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 1962, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EDUSP, 1963. p. 179-231.

EITEN, G. Natural brazilian vegetation types and their causes. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. Rio de Janeiro, v. 64, p. 35-65, 1992. (Suplemento, 1)

EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brazil. *The Botanical Review*, v.38, p. 201-341, 1972.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado In: PINTO, M. N. (Ed.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. 2. ed. Brasília: UnB: SEMATEC, 1994b. p. 17-73.

EITEN, G. Vegetation forms. **Boletim do Instituto de Botânica**, São Paulo, v. 4, p. 1-67, 1968b.

EITEN, G. **Classificação da vegetação do Brasil**. Brasília: CNPq, 1983. 305 p. il.  
EITEN, G. Delimitação do conceito Cerrado. **Boletim de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 34, n.

ELDRIDGE, D. J.; COSTANTINIDES, C.; VINE, A. Short-Term Vegetation and Soil Responses to Mechanical Destruction of Rabbit (*Oryctolagus cuniculus* L.) Warrens in an Australian Box Woodland. *Restoration Ecology*, v. 14, n. 1, p. 50–59, mar. 2006.

EMBELTON C, KING CAM (1975) *Periglacial Geomorphology*. Edward Arnold, London.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

EMBRAPA. **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo**. Disponível em:  
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1042994/1/Doc206.pdf>.  
Acesso em: 22 jan. 2025.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

ESCHENBRENNER, V. Termite activity and soil morphology in tropical areas. In: **congresso latinoamericano de ciência do solo, solo-suelo**. 1996. p. 13.

ESLER, K. J.; COWLING, R. M. The comparison of selected life-history characteristics of Mesembryanthema species occurring on and off Mima-like mounds (heuweltjies) in semi arid southern Africa. **Vegetatio**, v. 116, p. 41-50, 1995.

FAGERIA, N. K., BALIGAR, V. C., & JONES, C. A. (2011). Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. CRC press.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Ameliorating soil acidity of tropical oxisols by liming for sustainable crop production. *Advances in Agronomy*, v. 99, p. 345-399, 2008.

FARIA, André Luiz Lopes de. Solos, geomorfologia e relações ecológicas na parte sudoeste da península de Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima. 2010. 96f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2010.

FERREIRA DA, CARNEIRO MAC, SAGGIN-J UNIOR OJ. Fungos micorrízicos arbusculares em um Latossolo Vermelho sob manejos e usos no cerrado. *R Bras Ci Solo*. 2012;1: 51-61

FERREIRA, G. H. C. A Regularização Fundiária no Parque Nacional da Serra da Canastra e a Expropriação Camponesa: da Baioneta à Ponta da Caneta. Dissertação (Mestrado em Geografia). FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

FERREIRA, E; MARTINS, Vanessa; INDA JUNIOR, Alberto Vasconcellos; GIASSON, Elvio; NASCIMENTO, Paulo César Do. Ação dos térmitas no solo. *Ciência Rural*, [S. l.], v. 41, n. 5, p. 804–811, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000044>

FILGUEIRAS, T. S.; RODRIGUES, R. S. *Echinochloa inflexa*. In: Vieira, R. F.; Camillo, J.; Coradin, L. (Eds.). Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro - Região Centro-Oeste. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2016, cap. 5, pp. 620-623.

FINK, W. I.; FINK, S. V. A Amazônia Central e seus peixes. **Acta Amazônica**, v. 8, n. 4 suppl 1, p. 19–42, dez. 1978

FRAGOSO, C.; LAVELLE, P. Earthworm communities of tropical rain forests. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 24, n. 12, p. 1397–1408, dez. 1992.

FURLEY, P. A. Classification and distribution of murundus em cerrado of Central Brazil. *Journal of Biogeography*, Berkeley, v. 13, n. 3, p. 265-268, 1986

GABET, Emmanuel J.; PERRON, J. Taylor; JOHNSON, Donald L. Biotic origin for Mima mounds supported by numerical modeling. **Geomorphology**, v. 206, p. 58-66, 2014.

GARNIER-SILLAM, E. (1991) Comparative physico-chemical properties of soil-feeding *Thoracotermes macrothorax* and fungus-growing *Macrotermes mülleri* termite mounds. *Biogeochemistry* 48, 7-13.

GETZIN, S. et al. Adopting a spatially explicit perspective to study the mysterious fairy circles of Namibia. **Ecography**, v. 38, n. 1, p. 1-11, 2015.

GETZIN, S. et al. Clarifying misunderstandings regarding vegetation self-organisation and spatial patterns of fairy circles in Namibia: a response to recent termite hypotheses. 2015.



GETZIN, Stephan et al. Discovery of fairy circles in Australia supports self-organization theory. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 13, p. 3551-3556, 2016.

GETZIN, Stephan; YIZHAQ, Hezi; TSCHINKEL, Walter R. Definition of “fairy circles” and how they differ from other common vegetation gaps and plant rings. **Journal of Vegetation Science**, v. 32, n. 6, p. e13092, 2021.

GIBBS, James P. Wetland loss and biodiversity conservation. **Conservation biology**, v. 14, n. 1, p. 314-317, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.98608.x>

GILLER, P. The diversity of soil communities, the ‘poor man's tropical rainforest’. **Biodiversity & Conservation**, v. 5, p. 135-168, 1996. DOI: 10.1007/BF00055827.

GOLDONI, P.; BRESOVIT, A. Aranhas de serapilheira da Serra do Itapeti. Capítulo: Aranhas de serapilheira da Serra do Itapeti. In: MORINI MARIA SANTINA DE CASTRO; MIRANDA VITOR FERNANDES OLIVEIRA DE (Eds.). Serra do Itapeti - Aspectos Sociais, Históricos e Naturalísticos. [s.l.] Canal 6 Editora, 2012.

GOODLAND, R. A. A physiognomic analysis of the “Cerrado” vegetation of Central Brazil. **Journal of Ecology**, London, v. 59, p. 411-419, 1971.

GOODLAND, R. A.; FERRI, M. G. **Ecologia do Cerrado**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1979. 193 p. (Reconquista do Brasil, 52).

GOODLAND, R. A.; POLLARD, R. The brazilian cerrado vegetation: a fertility gradient. **Journal of Ecology**, London, v. 61, p. 219-224, 1973

GRASSÉ, P.P. **Termitologia**. Paris: Masson, 1986. Tomo 3.

GROHMANN, C., OLDELAND, J., STOYAN, D. & LINSSENMAIR, K.E. (2010) Multi-scale pattern analysis of a mound-building termite species. *Insectes Sociaux*, 57, 477–486.

GROHMANN, Constanze. **Termite mediated heterogeneity of soil and vegetation patterns in a semi-arid savanna ecosystem in Namibia**. 2010. Tese de Doutorado. Universität Würzburg.

GUERRA AT. Dicionário geológico-geomorfológico. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Conselho Nacional de Geografia; 1966

GUERRA, A. T. Dicionário geológico e geomorfológico. 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

GUERRA, Antonio Jose Teixeira; JORGE, Maria do Carmo Oliveira. Geomorfologia do cotidiano—A degradação dos solos. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 7, p. 116-135, 2012.

HALLSWORTH, E. G.; ROBERTSON, Gwen K.; GIBBONS, F. R. Studies in pedogenesis in New South Wales. VII. The "gilgai" soils. 1955.

HARLEY, R.M., 1995. Introduction, in: Stannard, B.L. (Ed.), Flora of the Pico Das A m s : Ch p d i m n in - Bahia, Brazil. Royal Botanic Gardens, Kew, pp. 1– 40.

HEINECK, C.A.; Leite, C.A.S.; Silva, M.A.; Vieira,V.S. 2003. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, Escala 1:1.000.000. Belo Horizonte, Convênio COMIG/CPRM, 1 folha.

HEISLER C.; KAISER, E-A. Influence of agricultural traffic and crop management on collembola and microbial biomass in arable soil. *Biology and Fertility of Soils*, 1995.

HEYWOOD, V.H. (ed) **1995. *The Global Biodiversity Assessment***. United Nations Environment Programme. Cambridge University Press, Cambridge. **p . xi + 1140**

HIGASHI, Masahiko; YAMAMURA, Norio; ABE, Takuya. Teorias sobre a sociabilidade dos cupins. **Cupins: evolução, sociabilidade, simbioses, ecologia** , p. 169-187, 2000.

HILGARD, E. W. The prairie mounds of Louisiana. **Science**, v. 21, n. 536, p. 551-552, 1905.

HIREN das., RAJKUMARI, P., VENU, N., BORKOTOKY, B. e KHANJAN das. (2022). Termites Impact on the Formation of Soil Profiles - A Review. In book: Role of Insects in Organic Farming (pp.33-49) **Publisher: Vital Biotech Publication**

HIRUMA, S.T. 2007. Revisão dos conhecimentos sobre o significado das linhas de seixos. *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*, 27-28(1/2): 53-64.

HOLE, Francis D. Effects of animals on soil. **Geoderma**, v. 25, n. 1-2, p. 75-112, 1981. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(81\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0016-7061(81)90008-2)

HOLT JA, COVENTRY RJ. Nutrient cycling in Australian savannas. *Journal Biogeography* 1990; 17: 427-432. <http://dx.doi.org/10.2307/2845373>

HOLT JA. Microbial activity in the mounds of some Australian termites. *Applied Soil Ecology* 1998; 9: 183- 187. [http://dx.doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00073-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00073-0)

HOLT, J.A. (1987) Carbon mineralization in semi-arid northeastern Australia: the role of termites. *Journal of Tropical Ecology* 3, 255-263.

HOLT, J.A., LEPAGE, M. (2000). Termites and Soil Properties. In: Abe, T., Bignell, D.E., Higashi, M. (eds) **Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology**. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-3223-9\\_18](https://doi.org/10.1007/978-94-017-3223-9_18)

HORWATH, J. L.; JOHNSON, D. L. Mima-type mounds in southwest Missouri: Expressions of point-centered and locally thickened biomantles. **Geomorphology**, v.77, n. 3–4, p. 308-319, 2006.

IBAMA. Portaria n.º 10, de 3 de março de 2005. Dispõe sobre a lista oficial das espécies da fauna brasileira ameaçadas de extinção. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, 2005. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IBAMA/PT0010-030305.PDF>.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. Brasília, DF: ICMBio, 2018.

INWARD, D., BECCALONI, G. E EGGLETON, P., 2007. Morte de uma ordem: um estudo filogenético molecular abrangente confirma que os cupins são baratas eussociais. *Cartas de biologia* , 3 (3), pp.331-335.

ISHIMATSU, A.; HISHIDA, Y.; TAKITA, T.; KANDA, T.; OIKAWA, S.; TAKEDA, T.; HUAT, K. K. Mudskippers store air in their burrows. *Nature*, v. 391, n. 6664, p. 237–238, jan. 1998.

JANEI, Vanelize. *Coptotermes gestroi* (Isoptera, Rhinotermitidae): dinâmica de colônias inteiras, necessidades hídricas e alocação de castas entre diferentes fontes alimentares. 2013.

JEWUŁA, K., MATYSIK, M., PASZKOWSKI, M., & SZULC, J. (2019). O desenvolvimento do final do Triássico de playa, planície de inundação de gilgai e ambientes fluviais da Alta Silésia, sul da Polônia. *Geologia Sedimentar* , 379 , 25-45.

JOHNSON, Donald L.; JOHNSON, Diana N. The polygenetic origin of prairie mounds in northeastern California. **Mima mounds: The case for polygenesis and bioturbation. Horwath Burnham JL, DL Johnson (eds). GSA Special Papers**, v. 490, p. 135-159, 2012.

JOHNSON, M. D., MICKELSON, D. M., CLAYTON, L., & ATTIG, J. W. (1995). Composition and genesis of glacial hummocks, western Wisconsin, USA. *Boreas*, 24(2), 97-116.

JOUQUET P, BLANCHART E, CAPOWIEZ Y (2014) Utilization of earthworms and termites for the restoration of ecosystem functioning. *Appl Soil Ecol* 73:34–40. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.08.004>

JOUQUET P, BOTTINELLI N, SHANBHAG RR, BOURGUIGNON T, TRAORÉ S, ABBASI SA (2016) Termites: the neglected soil engineers of tropical soils. *Soil Sci* 181(3/4):157–165. <https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000119>

JOUQUET P, TRAORE S, CHOOSAI C, HARTMANN C, BIGNELL D (2011) Influence of termites on ecosystem functioning. Ecosystem services provided by termites. *Eur J Soil Biol* 47(4):215–222. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2011.05.005>

JOUQUET, P. et al. Termite soil preferences and particle selections: strategies related to ecological requirements. **Insectes Sociaux**, v.49, p.1-7, 2002a.

JOUQUET, PASCAL & CHAUDHARY, EKTA & KUMAR, AMRITHA. (2018). Sustainable use of termite activity in agro-ecosystems with reference to earthworms. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 38. 10.1007/s13593-017-0483-1.

JUERGENS, N., GUNTER, F., OLDELAND, J., GROENGROEFT, A., HENSCHER, J.R., ONCKEN, I. et al. (2021) Largest on earth: Discovery of a new type of fairy circle in Angola supports a termite origin. *Ecological Entomology*, 46, 777–789.

JUERGENS, Norbert. The biological underpinnings of Namib Desert fairy circles. **Science**, v. 339, n. 6127, p. 1618-1621, 2013.

JUNGERIUS, P.D.; VAN DEN ANCKER, J.A.M.; MÜCHER, H.J. 1999. The contribution of termites to the microgranular structure of soils on the Uasin Gishu Plateau, Kenya. *Catena*, 34: 349-363.

KAMBHAMPATI, S., EGGLETON, P. (2000). Taxonomy and Phylogeny of Termites. In: Abe, T., Bignell, D.E., Higashi, M. (eds) *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-3223-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-017-3223-9_1)

KÄMPF, N., & CURI, N. (2012). Óxidos de ferro em solos tropicais: funções e significado ambiental.

KASCHUK, G. et al. Termite activity in relation to natural grassland soil attributes. **Scientia Agricola**, v.63, n. 6, p.583- 588, 2006. Doi: 10.1590/S0103-90162006000600013

KATO, Kiyti. Efeito da queimada na estabilidade de agregados, na resistência ao selamento superficial e na taxa de infiltração de água em solos de cerrado. 2001. viii, 58 f., il. Tese (Doutorado em Ecologia)—Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. *Genomos*, v. 5, n. 1, p. 17-40. 1997.

KHITROV, N. B. Vertisols with gilgai microtopography: classification and parameters of microtopography and morphological types of soils (a review). **Eurasian Soil Science**, v. 49, p. 125-144, 2016.

KINNAIRD, L. The frontiers of New Spain: Nicolas de Lafora's description, 1766 – 1768. *Quivira Society*: Berkeley, USA, 243p, 1958

KISHNÉ, A. Sz; MORGAN, C. L. S.; MILLER, W. L. Vertisol crack extent associated with gilgai and soil moisture in the Texas Gulf Coast Prairie. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, n. 4, p. 1221-1230, 2009.

KOCHIAN, L. V., PIÑEROS, M. A., & HOEKENGA, O. A. (2015). The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. *Plant and Soil*, 274(1), 175-195.

KORASAKI, V.; MORAIS, J. W. DE; BRAGA, R. F. Macrofauna. In: MOREIRA, F. M. S; CARES, J. E. ; Z. R.; STÜRMER, S. L. (Eds.). . *O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal*. Lavras: Editora da UFLA, 2013. p. 79–128.

KORB, Judith. Termites. **Current Biology**, v. 17, n. 23, p. R995-R999, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.10.033>

KORB, Judith. “Termorregulação e ventilação de cupinzeiros”. *Naturwissenschaften* 90 (2003): 212-219.

KRINITZSKY, Ellis Louis. Origin of pimple mounds. **American Journal of Science**, v. 247, n. 10, p. 706-714, 1949.

KRISHNA, K. Introduction. In: KRISHNA, K.; WEESNER, F.M. (Eds.). **Biology of termites**. New York: Academic, 1969. V.1, p.1-17.

KUNZ, N. S.; HOFFMAN, M. T.; WEBER, B. Effects of heuweltjies and utilization on vegetation patterns in the Succulent Karoo, South Africa. **Journal of Arid Environments**, v. 87, p. 198-205, 2012.

LAGARIA, A.; YOULATOS, D. ANATOMICAL CORRELATES TO SCRATCH DIGGING IN THE FORELIMB OF EUROPEAN GROUND SQUIRRELS (*SPERMOPHILUS CITELLUS*). *Journal of Mammalogy*, v. 87, n. 3, p. 563–570, jun. 2006.

LAVELLE P (1997) Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Adv Ecol Res* 27:93–132. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60007-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60007-0)

LAVELLE P., BIGNELL D., LEPAGE M., WOLTERS V., ROGER PIERRE-ARMAND, INESON P., HEAL O.W., DHILLION S. (1997). Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, 33 (4), p. 159-193. Biodiversity of Soil Biota and Soil Function : SCOPE/GCTE Meeting, Paris (FRA), 1996/05. ISSN 1164-5563.

LAVELLE, P., SPAIN, A., BLOUIN, M., BROWN, G., DECAËNS, T., GRIMALDI, M., ... & ZANGERLÉ, A. (2016). Ecosystem engineers in a self-organized soil: a review of concepts and future research questions. **Soil Science**, 181(3/4), 91-109.

LAVELLE, P.; DANGERFIELD, M.; FRAGOSO, C.; ESCHENBRENNER, V.; LOPEZHERNANDEZ, D.; PASHANASI, B.; BRUSSARD, L. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J., eds. *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*. New York: Wiley-Sayce Publication, 1994.

LEE KE, WOOD TG (1971) *Termites and soils*. Academic Press Inc, London

LEE, K. E., & WOOD, T. G. (1971). Physical and chemical effects on soils of some Australian termites, and their pedological significance. **Pedobiologia**, 11, 376-409.

LÉONARD, J., & RAJOT, J. L. (2001). Influence of termites on runoff and infiltration: Quantification and analysis. *Geoderma*, 104, 17–40. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00054-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00054-4)

LÉONARD, J., & RAJOT, J. L. (2004). Subterranean termites and soil hydrology in the Sahel (West Africa). *European Journal of Soil Science*, 52(2), 179-187

LEPSCH, Igo F. **Formação e conservação dos solos**. Oficina de textos, 2016.

LIMA, J. M., ASSIS, F. C., & SILVA, E. P. (2015). Granulometria e manejo sustentável do solo em sistemas tropicais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(3), 215-230.

LIRA, Damião Isaac de. **Morfologia de microrrelevo Gilgai na região de Caicó-RN**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

LOBRY DE BRUYN, L. and CONACHER, A.J. (1990) The role of termites and ants in soil modification: a review. *Australian Journal of Soil Research* 28, 55-93.



LOPES, A. S.; COX, F. R. A importância da fração argila na fixação de fósforo em solos tropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 3, n. 1, p. 1-5, 1979.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. A career perspective on soil management in the Cerrado Region of Brazil. In: SPARKS, D. (ed.) *Advances in Agronomy*, Cambridge: Academic Press, v. 137, p. 1-72, 2016.

LOVEGROVE BG, SIEGFRIED WR. Distribution and formation of Mima-like earth mounds in the western Cape Province of South Africa. **S. Afr. J. Sci.** **82**, 432-436, 1986.

LOVEGROVE BG. The power of fitness in mammals: perceptions from the African slipstream. *Physiological and Biochemical Zoology* 79: 224–236, 2006. <https://doi.org/10.1086/4999994>

MACKAY, J. Ross. The origin of hummocks, western Arctic coast, Canada. **Canadian Journal of Earth Sciences**, v. 17, n. 8, p. 996-1006, 1980.

MALHEIRO, Amanda Moraes; BOEIRA, Veronica Natalia; BUENO, Guilherme Taitson; MANTOVANI, José Roberto Amaro. Condicionantes naturais da distribuição espacial dos campos de murundus no sudoeste do estado de Goiás. *Sociedade & Natureza*, v. 36, 2024. DOI: 10.14393/SN-v36-2024-69038

MARICATO HS. Fitossociologia em campos de murundus na Bacia do Rio Claro, estado de Goiás. [dissertação] Jataí: Universidade Federal de Goiás; 2012.

MARIMON BS, Lima EDS. Caracterização fitofisionômica e levantamento florístico preliminar do pantanal dos rios Mortes-Araguaia, Cocalinho, Mato Grosso, Brasil. *Acta Bot Bras.* 2001;15:213-29.

MARIMON, B.S., MARIMON-JÚNIOR, B.H., LIMA, H.S., JANCOSKI, H.S., FRANCA, D.D., MEWS, H.A. & MORESCO, M.C. Pantanal do Araguaia – Ambiente e povo: guia de ecoturismo. Cáceres: Editora UNEMAT. 96 p, 2008.

MARIMON, B. S. et al. Florística dos campos de murundus do Pantanal do Araguaia, Mato Grosso, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* [online]. 2012, v. 26, n. 1 [Acessado 5 Janeiro 2023], pp. 181-196. Epub 09 Maio 2012. ISSN 1677-941X. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062012000100018>

MARQUART, Arnim; GOLDBACH, Lars; BLAUM, Niels. Soil-texture affects the influence of termite macropores on soil water infiltration in a semi-arid savanna. **Ecohydrology**, v. 13, n. 8, p. e2249, 2020. <https://doi.org/10.1002/eco.2249>

MARQUART, H., GOLDBACH, A., & BLAUM, N. Effects of termites on water infiltration patterns depend on soil texture and vegetation cover: a paired rainfall simulation experiment. *Journal of Arid Environments*, 179, 104190, 2020.

MARSCHNER P. Mineral nutrition of higher plants, 3rd ed. London: Academic Press, p.324–333. pp 605–626, 2012 <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>.

MARTIN, Stephen J; FUNCH, Roy R.; HANSON, Paul R.; YOO, Eun-Hye. A vast 4,000-year-old spatial pattern of termite mounds. **Current Biology**, v. 28, ed. 22, R. 1283-R1295, 19 nov. 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.09.061>

MARTINS AKE, SCHAEFER CEGR, SILVA E, SOARES VP, CORRÊA GR, MENDONÇA BAF DE. Relações solo-geoambiente em áreas de ocorrências de Ipucas na planície do Médio Araguaia - Estado de Tocantins. Rev Árvore [Internet]. 2006 Mar;30(2):297–310. Available from: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000200017>

MARTINS LNB. Atributos bioquímicos de um Plintossolo Háplico em uma cronossequência de uso agrícola. [dissertação] Jataí: Universidade Federal de Goiás, 2011.

MARTINS, F. P. Caracterização física e química de latossolos e gleissolos no campo de Murundu do Córrego da Fortaleza, chapada oeste do Triângulo Mineiro. 2014. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014. DOI <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2014.177>

MARTINS, Gustavo Mattos; MIKLÓS, Andreas Attila de Wolinsk. Efeitos da ação de cupins sobre propriedades de um perfil de solo em uma vertente da Represa Billings-São Bernardo do Campo/SP. 2008.

MATHEWS, A.G.A. Studies on termites from The Mato Grosso State, Brazil. **Academia Brasileira de Ciência**, Rio de Janeiro, 1977. 267 p.

MCAULIFFE JR. Heuweltjies – the ‘Little Hills’ of western South Africa. In **Fairy circles of the Namib Desert: ecosystem engineering by subterranean social insects. Biodiversity & Ecology 7** (ed. Jürgens N), pp. 302-339. Goettingen, Germany: Klaus Hess Verlag, 2022.

MCAULIFFE, Joseph R. Earthen mounds (heuweltjies) of South Africa and their termite occupants: applicability of concepts of the extended phenotype, ecosystem engineering and niche construction. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 378, n. 1884, p. 20220150, 2023.

MCAULIFFE, Joseph R. et al. Whether or not heuweltjies: Context-dependent ecosystem engineering by the southern harvester termite, *Microhodotermes viator*. **Journal of arid environments**, v. 163, p. 26-33, 2019.

MCCARTHY TS, ELLERY WN, DANGERFIELD JM. The role of biota in the initiation and growth of islands on the floodplain of the Okavango alluvial fan, Botswana. *Earth Surface ProcLandf*. 1998; 23: 291-316.

MEDEIROS, M. B.; FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 157-168, 2004.

MELLON, Michael T.; MCKAY, Christopher P.; HELDMANN, Jennifer L. Solo poligonal nos Vales Secos McMurdo da Antártica e sua relação com a profundidade da camada de gelo e a história climática recente da Antártica. **Ciência Antártica**, v. 26, n. 4, pág. 413-426, 2014.

MELO GB et al. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e convencional de repolho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 51: 1511-1519, 2016.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. Matéria orgânica do solo: métodos de análises. Viçosa: UFV; 2005. 107 p.

METTROP, I. S.; CAMMERAAT, L. H.; VERBEETEN, E. The impact of subterranean termite activity on water infiltration and topsoil properties in Burkina Faso. **Ecohydrology**, v. 6, n. 2, p. 324-331, 2013.

MEYER, J.A. Resultants agronomiques d'un essai de nivellement des termitières réalisées dans la cuvette centrale congolaise. **Bulletin of Agriculture in Congo Belgs**, 51: 1047-1059, 1960.

MEYER, JJ Marion et al. The fairy circles (circular barren patches) of the Namib Desert-What do we know about their cause 50 years after their first description?. **South African Journal of Botany**, v. 140, p. 226-239, 2021.

MIDGLEY, G. & HOFFMAN, T. "Heuweltjies: nutrient factories." *Veld & Flora* 77.3 (1991) 72-75.

MIDGLEY, JJ. More mysterious mounds: Origins of the Brazilian campos de murundus. *PlantSoil*. 2010; 336:1-2.

MIGUEL, P. et al. Caracterização de plintitas e petroplintitas em solos da depressão central do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 43, n. 6, p. 999–1005, jun. 2013.

MOLLARD JD. Landforms and surface materials of Canada: A stereoscopic airphoto atlas and glossary. Mollard: 1975.

MOORE, JM, PICKER, MD Heuweltjies (montes de terra) no distrito de Clanwilliam, Província do Cabo, África do Sul: ninhos de cupins de 4.000 anos. **Ecologia** 86, 424–432 (1991). <https://doi.org/10.1007/BF00317612>

MORAIS, Rodrigo Ferreira; MORAIS, Fernando Ferreira; LIMA, Jose Francisco de. Composição e estrutura da comunidade arbórea e arbustiva em murundus no Pantanal de Poconé, Mato Grosso. **Revista Árvore**, v. 38, p. 443-451, 2014.

MOREIRA, V. B. Geocronologia em ambientes de veredas e campos de murundus na chapada Uberlândia-Uberaba: subsídios à evolução da paisagem. 2017, 123f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

MOREIRA, V. B.; PEREZ FILHO, A. Das superfícies de aplainamento aos pulsos climáticos holocênicos: a evolução da paisagem em relevos de chapada. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 176-195, 23 mar. 2020.

MOREIRA, V. B; PEREZ FILHO, A. Caracterização Física dos Microrrelevos de Murundus na Chapada Uberlândia-Uberaba/MG: Discussões Preliminares Sobre Gênese. **Revista Do Departamento De Geografia de São Paulo**, (s.l), 227-237, 2017. <https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.132632>

MOREIRA, Vinícius Borges; FILHO, Archimedes Perez. 21. MORFOGÊNESE DE MICRORRELEVOS SIMILARES A MURUNDUS NA PAISAGEM. 2017.

MYERS, N. R. A.; MITTERMEIER, C. G.; MITTERMEIER, G. A. B. F.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, London, v.403, n. 6, p. 853-858, 2000.

NAHON, D.; TARDY, Y. The Ferruginous Laterites. In: **SOMMER, M.** (Ed.). *Developments in Soil Science*. [S.l.]: Elsevier, 1986. v. 17, p. 41-65. DOI: [10.1016/B978-0-444-89095-5.50010-9](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-89095-5.50010-9).

NAZAR, T. I. S. M. 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.

NAZAR, T. I. S. M., & RODRIGUES, S. C. RELEVO DO CHAPADÃO DO DIAMANTE, SERRA DA CANASTRA/MG, BRASIL: COMPARTIMENTAÇÃO E ANÁLISE A PARTIR DOS ASPECTOS GEOMORFOMÉTRICOS. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, 20(1), 2019, DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v20i1.1300>

NAZAR, Thallita Isabela Silva Martins; RODRIGUES, Sílvia Carlos. Análise comparativa de geocoberturas em três vertentes no Chapadão do Diamante, Serra da Canastra-MG, Brasil. **Caderno de Geografia**, v. 30, n. esp. 1, p. 1-18, 2020. Disponível <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2020v30nesp1p1-18>

NEILL, C., ET AL. Soil organic matter and nutrient dynamics following deforestation for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. *Ecosystems*, 1(1), 215-224, 1997.

NOIROT, C., DARLINGTON, J.P.E.C. Termite Nests: Architecture, Regulation and Defence. In: Abe, T., Bignell, D.E., Higashi, M. (eds) *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. Springer, Dordrecht, 2000 [https://doi.org/10.1007/978-94-017-3223-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-017-3223-9_6)

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999.

NOY, Klil et al. Spatial and spectral analysis of fairy circles in Namibia on a landscape scale using satellite image processing and machine learning analysis. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 121, p. 103377, 2023.

NUNES DA CUNHA, C., JUNK, W.J., LEITÃO FILHO, H.F. Woody vegetation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil: a preliminary typology. *Amazoniana*, v.3/4, p.159-184, 2007.

OLIVEIRA FILHO, A. T. Floodplain “murundus” of Central Brazil: evidence for the termite-origem hypothesis. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 8, n. 1, p. 1-19, 1992.

OLIVEIRA, D. A.; PIETRAFESA, J. P.; BARBALHO, M. G. da S. MANUTENÇÃO DA BIODIVERSIDADE E O HOTSPOTS CERRADO. **Caminhos de Geografia**,

Uberlândia, v. 9, n. 26, p. 101–114, 2008. DOI: 10.14393/RCG92615700. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15700>.

OLIVEIRA, E. L., & PAVAN, M. A. Solos ácidos: manejo e correção da acidez, 1996.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FURLEY, P. A. Monchão, cocuruto, murundu. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 61, p. 30-37, 1990.

OLIVEIRA-FILHO, Ary T. A vegetação de um campo de monchões — microrrelevos associados a cupins — na região de Cuiabá (MT). 1988. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988. [10.1017/S0266467400006027](https://doi.org/10.1017/S0266467400006027)

OTVOS, E. G.; PRICE D.M. Late Quaternary inland dunes of southern Louisiana and arid climate phases in the Gulf Coast region. **Quaternary Research**, v.55, p. 150-158, 2001.

OTVOS, G. E. Prospects for interregional correlations using Wisconsin and Holocene aridity episodes, northern Gulf of Mexico coastal plain. **Quaternary Research**, v. 61, n. 1, p. 105-118. 2004.

P. JOUQUET, N. GUILLEUX, L. CANER, S. CHINTAKUNTA, M. AMELINE, R.R. SHANBHAG, Influence of soil pedological properties on termite mound stability, *Geoderma*, Volume 262, 2016, Pages 45-51, ISSN 0016-7061, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.020>

PAGUICAN EMR, VAN WYK DE VRIES B, LAGMAY AMF. Volcano-tectonic controls and emplacement kinematics of the Iriga debris avalanches (Philippines). *Bull Volcanol* 74(9):2067–2081, 2012, DOI:10.1007/s00445-012-0652-7

PAGUICAN, E. M. R.; VAN WYK DE VRIES, B.; LAGMAY, A. M. Hummocks: How they form and how they evolve in rockslide-debris avalanches. **Landslides**, v. 10, n. 3, p. 407-420, 2013. DOI: 10.1007/s10346-012-0368-y.

PARIZEK, B., ROSTAGNO, C. M., & SOTTINI, R. Soil erosion as affected by shrub encroachment in Northeastern Patagonia. *Journal of Range Management*, 55, 43, 2002, DOI: <https://doi.org/10.2307/4003261>

PARIZEK, L., ROSTAGNO, C. M., & SOTTINI, F. J. Effects of termite activity on soil properties and hydrological processes in a degraded semi-arid ecosystem in central Argentina. *Journal of Arid Environments*, 50(3), 453-462, 2002

PATON, T. R. Origin and terminology for gilgai in Australia. **Geoderma**, v. 11, n. 3, p. 221-242, 1974.

PATUCCI, Natália Nunes. **Estudo da pedofauna como bioindicadora da qualidade de solos em fragmentos florestais urbanos**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

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.



- PENTEADO-ORELLANA, M. M. Microrelevos associados a térmitas no Cerrado. *Notícias Geomorfológicas*, Campinas, v. 20, n. 1, p. 61-71. 1980
- PEREIRA, Firmino Cardoso et al. Diversidade de Asteraceae em um campo de murundus no sudoeste de Goiás, Brasil. **Rodriguésia**, v. 70, 2019.
- PICKER M, HOFFMAN M, LEVERTON B. Density of *Microhodotermes viator* (Hodotermitidae) mounds in Southern Africa in relation to rainfall and vegetative productivity gradients. *JZool.* 2007;271:37-44.
- PINHEIRO, Liane Barreto Alves et al. Atributos edáficos e de termiteiros de cupim-de-montículo (Isoptera: Termitidae) em Pinheiral-RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 510-520, 2013.
- PINTALDI, Emanuele et al. Hummocks affect soil properties and soil-vegetation relationships in a subalpine grassland (North-Western Italian Alps). **Catena**, v. 145, p. 214-226, 2016.
- PINTO, J. R. R.; MEWS, H. A.; JANCOSKI, H. S.; MARIMON, B. S. BOMFIM, B. O. Woody vegetation dynamics in a floodplain campo de murundus in central Brazil. *Acta Bot. Bras.*, v. 28, n. 4, p. 519-526, 2014.
- PINTO, M. N.. Caracterização geomorfológica. In: PINTO, M. N.. Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. 2 ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1993.
- PIRANI, José Rubens et al. **Checklist and patterns of geographic distribution of the vegetation of serra do ambrosio, minas gerais, brazil**. *Revista Brasileira de Botanica*, v. 17, n. 2, p. 133-47, 1994.
- 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.
- PONCE, V.M. & CUNHA, C.N. Vegetated earthmounds in tropical savannas of Central Brazil: a synthesis: with special reference to the Pantanal do Mato Grosso. *Journal of Biogeography*, 20:219-225, 1993.
- PRICE, W. Armstrong; KRINITZSKY, E. L. Origin of pimple mounds. **American Journal of Science**, v. 248, n. 5, p. 355-360, 1950.
- QUESADA, C. A., et al. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. *Biogeosciences*, 7(5), 1515-1541, 2010.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001.
- RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de**

**Ciência do Solo**, v.31, p.1609-1623, 2007. DOI: 10.1590/S0100-06832007000600037.  
» <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600037>

RATCLIFFE, F.N. et al. Australian termites: the biology, recognition and economic importance of the common species. **Melbourne, Australia: CSIRO**, 1952. 124p.

RATTER JA, RICHARDS PW, ARGENT G, GIFFORD DR. Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso. I. The woody vegetation types of the Xavantina-Cachimbo Expedition area. Phil Trans. 1973;226:449-92.

RATTER, J. A. Some notes on two types of cerrado occurring in north eastern Mato Grosso. In: FERRI, M. G. (Ed.). **Simpósio sobre o cerrado**, 3. São Paulo: Edgard Blücher Ltda.: EDUSP, 1971. p. 100-102.

RATTER, J. A. **Notes on the vegetation of Fazenda Água Limpa (Brasília, DF, Brazil)**. Edinburgh: Royal Botanic Garden Edinburgh, 1980.

REDFORD KH. The Termitaria of *Cornitermes cumulans* (Isoptera, Termitidae) and their role in determining a potential keystone species. Biotropica 1984; 16(2): 112- 119.  
<http://dx.doi.org/10.2307/2387842>

RESENDE, I. L.M.; ARAÚJO, G. M.; OLIVEIRA, A. P. A.; OLIVEIRA, A. P.; JÚNIOR, R. S. A. A comunidade vegetal e as características abióticas de um campo de murundu em Uberlândia, MG. Acta Botanica Brasilica, v. 18, n. 1, p. 9–17, 2004.

RESENDE, M.; CURI, N.; RESENDE, S. B.; CORREA, G. F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 3. ed. Lavras: UFLA, 2007. 322p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 6. ed. Lavras: Editora UFLA, 2011.

RIBAS, E. R. Variação sazonal da temperatura corpórea no lagarto Teiú, *Tupinambis merianae* (Squamata, Lacertilia, Teiidae). São Paulo SP, 2005.

RIBEIRO, J. F.; FONSECA, C. E. L.; SOUSA-SILVA, J. C. (Ed.). **Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 899 p.

RIBEIRO, JF; SANO, SM; MACÊDO, J.; SILVA, JÁ. **Os principais tipos fitofisionômicos da região dos Cerrados**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1983. 28 p. (Embrapa-CPAC. Boletim de Pesquisa, 21).

RIBEIRO, JF; WALTER, BMT As matas de galeria no contexto do bioma Cerrado. In: RIBEIRO, JF; FONSECA, CEL; SOUSA-SILVA, JC (Ed.). **Cerrado : caracterização e recuperação de Matas de Galeria**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. p. 29-47.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda., 1997. 747 p.

ROBINSON, W. H. Urban entomology: insect and mite pests in the human environment. London: Chapman & Hall, 1996.

RODRIGUES, Ana Paula Dechen. Evolução pedológica em campos de murundus de chapada no triângulo mineiro. 2023. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

RODRIGUES, Sílvia Carlos. **Análise empírico-experimental da fragilidade relevo-solo no cristalino do planalto paulistano**: sub-bacia do reservatório billings. 1998. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ROMERO, R., & NAKAJIMA, J. N.. (1999). Espécies endêmicas do Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais. **Brazilian Journal of Botany**, 22, 259–265. <https://doi.org/10.1590/S0100-84041999000500006>

ROSOLEN, V.; BUENO, G. T.; MUTEMA, M.; MOREIRA, C. A.; FARIA, I. R.; NOGUEIRA, G.; CHAPLOT, V. On the link between soil hydromorphy and geomorphological development in the Cerrado (Brazil) wetlands. *Catena*, n. 176, pp. 197-208, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.01.022>  
» <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.01.022>

ROSOLEN, Vania; DE OLIVEIRA, Diego Alves; BUENO, Guilherme Taitson. Vereda and Murundu wetlands and changes in Brazilian environmental laws: challenges to conservation. **Wetlands Ecology and Management**, v. 23, n. 2, p. 285-292, 2015

ROSS, B. A.; TESTER, J. R.; BRECKENRIDGE, W. J. Ecology of Mima-type mounds in northwestern Minnesota. **Ecology**, v. 49, n. 1, p. 172-177, 1968.

SANT'ANA, Luís Paulo. Padrão de escavação de túneis em *Cortaritermes silvestrii* (Termitidae: Nasutitermitinae). 2017. 67 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Biologia Animal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2017.

SANTANA, M. L. T.; RIBEIRO, B. T.; SILVA, S. H. G.; POGGERE, G. C.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N. Conditions affecting oxide quantification in unknown tropical soils via handheld X-ray fluorescence spectrometer. *Soil Research*, Rome, v. 56, n. 6, p. 648-655, 2018. DOI: /10.1071/SR18099

SANTOS, A. A. dos. 2014 Paisagem do Parque Nacional da Serra da Canastra e de sua zona de amortecimento – MG [manuscrito]: análise de padrões espaciais a partir de árvore de decisão e métricas de paisagem / Amanda Alves dos Santos. – 2014.

SANTOS, F. C. V., FREITAS, I. C., CUSTÓDIO FILHO, R. O., CORRECHEL, V., UCKER, F. E., & KEMERICH, P. D. da C. Uso e ocupação de microrrelevo de murundus no sudoeste de Goiás: uma abordagem sobre os aspectos físicos do solo. *Revista Monografias Ambientais*, Santa Maria, v. 14, n. 1. 2988–2995, 2014. <https://doi.org/10.5902/2236130810967>

SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C., OLIVEIRA, V. A., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., ... & CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª edição. Brasília: Embrapa, 2018.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5 Brasília: EMBRAPA, 356 p., 2018.

SANTOS, L.J.C; SALGADO A. A. R; RAKSSA M.L; MARRENT B.R. Gênese das Linhas de Pedra. *Revista brasileira de Geomorfologia* – v.11, n°2(2010) p.103-108.

SANTOS, M. R. Adsorção de fósforo em solos tropicais: influência dos óxidos de ferro e alumínio. 2022. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.

SANTOS, Milton. A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção. 4. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

SARMIENTO G, MONASTERIO M. Ecología de las sabanas de America Tropical. Analisis macroecológico de los llanos de Calabozo, Venezuela. *Cuad Geogr.* 1971;4:1-26.

SCANLON, B. R.; LEVITT, D. G.; REEDY, R. C.; KEESE, K. E.; SULLY, M. J. Ecological controls on water-cycle response to climate variability in deserts. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 102, n. 17, p. 6033–6038, 26 abr. 2005

SCHADE, J. D., AND S. E. HOBBIE. Spatial andtemporal variation in islands of fertility in theSonoran Desert. *Biogeochemistry* 73:541–553, 2005.

SCHAEFER, C. E. G. R., KER, J. C., & GILKES, R. J. Mineralogia de solos altamente intemperizados, 2008.

SCHEFFER VB. Do fossorial rodent s originate Mima-type microrelief? *Am Midland Natur* .1958;59:505-10.

SCHNEIDER, M.O. Bacia do Rio Uberabinha: Uso agrícola do solo e meio ambiente. 1996. 157p. Tese (Doutorado em Geografia Física) –Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

SCHNEIDER, M.O; SILVA, D, B. da. Estrutura pedológica e dinâmica hídrica do “covoal” córrego da fortaleza. *Sociedade & Natureza, Uberlândia*, v.3, n. (5 e 6), p.75-89, dezembro, 1991.

Schwertmann, U. (1985). The effect of pedogenic environments on iron oxide minerals. *Advances in Soil Science*, 1, 171-200.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R. M. Iron oxides. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. *Minerals in soil environments*. Madison: Soil Science Society of America, 1989.

SCOTT, N. A.; COLE, C. V.; ELLIS, J. E.; SWIFT, D. M. Soil, nitrogen, and phosphorus dynamics in response to fire, grazing, and carbon dioxide in the Colorado shortgrass steppe. *Journal of Environmental Quality*, v. 25, n. 1, p. 99-109, 1996.

SEIFERT, C. L.; COX, R. T.; FORMAN, S. L.; FOTI, T. L.; THAD A. WASKLEWICZ, T. A.; MCCOLGAN, A. T. Relict nebkhas (pimple mounds) record prolonged late Holocene drought in the forested region of south-central United States. **Quaternary Research**, v.71, n. 3, p. 329-339, 2009.

SHAEFER, C.E. Brazilian latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. **Australian Journal of Soil Research**, v.39, p.909-926, 2001.

SILVA JG. Índice de qualidade de um Plintossolo Argilúvico para fins agrícolas no Cerrado do Sudoeste de Goiás. [dissertação] Jataí: Universidade Federal de Goiás; 2010.

SILVA JH. Atributos físico-hídricos de um Plintossolo Háplico sob uma cronossequência de uso agrícola em campo de murundu. [dissertação] Jataí: Universidade Federal de Goiás; 2011.

SILVA LCR, VALE GD, HAIDAR RF, STERNBERG SLL. Deciphering earth mound origins in central Brazil. *Plant Soil*. 2010 a; 336:3-14

SILVA RRD, SILVA MLN, CARDOSO EL, MOREIRA FMDS, CURI N, ALOVISI AMT. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. *R Bras Ci Solo*. 2010b; 34:1585-92

SILVA, Ana Márcia Barbosa da et al. Interação cupim-líquén em ecossistema semiárido do nordeste brasileiro. 2019.

SILVA, C. F. S. Ecologia dos campos de murundus do Parque Nacional de Brasília: subsídios para a gestão de uma área protegida. 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília (UnB), Brasília, 2018.

SILVA, G.; SILVA, R.; RODRIGUES, S.C. Análise descritiva de nascentes do rio São Francisco, No Chapadão Diamante, na Serra da Canastra-MG. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Instituto de Geociências, UNICAMP, Campinas - SP. 2017. DOI: <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.1826>  
» <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.1826>

SILVA, L. C. R.; VALE, G. D.; HAIDAR, R. F.; STERNBERG, L. S. L. Deciphering earth mound origins in central Brazil. *Plant and Soil*, v. 336, n. 1–2, p. 3–14, 2010

SILVA, M. P. et al. Levantamento fitossociológico em ambiente de vereda na APP ribeirões do Gama e Cabeça de Veado, Brasília-DF. **Revista Eletrônica Geoaraguaia**, Barra do Garças, v. 6, n. 1, p. 84-98, jan./jul. 2016.

SILVEIRA, A. Análise geomorfológica e do uso da terra da bacia do Ribeirão Tijucu Preto (SP): subsídio ao planejamento ambiental. 2007. 51 f. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado -Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2007.

SILVEIRA, A. Uma tentativa da compreensão da dinâmica paisagística sob a ótica da fisiologia da paisagem nas obras de AZIZ AB'SÁBER (1957 e 1969): O CASO DO SÍTIO URBANO DE SÃO PAULO (SP) 1º SIMPGEO/SP, Rio Claro, 2008.

SILVEIRA, S. R. E . et al.. Productivity and nutritional quality of Flechinha grass (*Echinolaena inflexa* ), native grass of Brazilian Cerrado. **Ciência Rural**, v. 46, n. 6, p. 1100–1106, jun. 2016. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151213>

SIMÕES F.F.S. Pedogênese e propriedades físicas, químicas, morfológicas de solos e murundus no médio Jequitinhonha, Minas Gerais. 2012. Tese (Doutorado em Geografia), Departamento de Geografia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.



SLABBER M H 'n. Grondopname in die Malmesbury-Piketbergstreek. Unpubl DSc (Agrie) thesis, Univ Stellenbosh, 1945.

SMEATHMAN, H. Of the termites in Africa and other hot climates. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 71, 60-85, 1781.

SOARES, Márcia Toffani Simão. **Solo e bioconstruções: morfologia e geoquímica dos cupinzeiros e dos solos associados na região de Humaitá (Sul do Estado do Amazonas)**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

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/10.36783/18069657rbc20190133>

SOUZA, A.O.; PEREZ FILHO, A.; LÄMMLE, L.; SOUZA, D.H. Holocene climate pulses and structural controls on the geomorphological estuarine evolution of the Iguape River, São Paulo, Brazil. Continental shelf research, v. 205, p. 104168, 2020.

SOUZA, D. A de.; RODRIGUES, S. C. Aspectos Morfoestruturais da Serra da Canastra e entorno (MG). Revista do Departamento de Geografia – USP. São Paulo, v.27, p.47-66, 2014. <https://doi.org/10.11606/rdg.v27i0.472>

SOUZA, E. D. DE ., CARNEIRO, M. A. C., PAULINO, H. B., RIBEIRO, D. O., BAYER, C., & ROTA, L. A. Matéria orgânica e agregação do solo após conversão de "campos de murundus" em sistema plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 51(9), 1194–1202, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900019>

SOUZA, H.J. (2017) A origem dos murundus no semiárido brasileiro. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil. 143p.

SOUZA, H.J. e DELABIE, J.H.C. (2016) 'Murundus' structures in the semi-arid region of Brazil: testing their geographical congruence with mound-building termites (Blattodea: Termitoidea: Termitidae). **Annales de la Société Entomologique de France**, 52, 369-385.

SOYER, J. Role des termites dans la formation du complexe de la stone-line. Geo-Eco-Crop 11, 97-108, 1987.

STEVENSON, F. J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2nd ed. New York: Wiley, 1994.

STOOPS, G. Relict properties of soils in humid tropical regions with special reference to central Africa. Catena Supplement 16,95-106, 1989.

STORK, N.E.; EGGLETON, P. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. American Journal of Alternative Agriculture, Greenbelt, 1992.

SUTTI, R. Purificação e caracterização de hialuronidase da peçonha da caranguejeira *Vitalius dubius* (Araneae, Theraphosidae). Campinas SP, 2011.

SWANEPOEL, J.; MILTON-DEAN, S. J.; HENSCHER, J. R. Heuweltjies: significance of long-term observation and multidisciplinary collaboration. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/288835481\\_Heuveltjies\\_significance\\_of\\_long\\_term\\_observation\\_and\\_multidisciplinary\\_collaboration](https://www.researchgate.net/publication/288835481_Heuveltjies_significance_of_long_term_observation_and_multidisciplinary_collaboration), 2015.

SWIFT M. J; BIGNELL D; MOREIRA F. M. DE S; HUISING J. O inventário da biodiversidade biológica do solo: conceitos e orientações gerais. In: MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. (Eds.). Manual de biologia dos solos tropicais: 223 amostragem e caracterização da biodiversidade. Lavras: Editora da UFLA, 2010. p. 23–41.

TAMVAKIS, Ioannis. **The persistent enigma of the Namibian desert fairy circles**. 2014. Dissertação de Mestrado.

TANG, Q.; OKI, T. Terrestrial Water Cycle and Climate Change: Natural and Human-Induced Impacts. NJ, USA, 2016.

TARNITA CE, BONACHELA JA, SHEFFER E, GUYTON JA, COVERDALE TC, LONG RA, PRINGLE RM. Uma base teórica para padrões de vegetação regulares em múltiplas escalas . **Natureza**, 398-401, 2017. <https://doi:10.1038/nature20801>

TARNOCAI, C.; ZOLTAI, S. C. Earth Hummocks of the Canadian Arctic and Subarctic\*. **Arctic and Alpine Research**, v. 10, n. 3, p. 581-594, 1978.

TEDROW, JCF; UGOLINI, FC Solos Antárticos. **Solos antárticos e processos de formação de solo** , v. 8, p. 161-177, 1966.

TEN CATE H. Die gronde van die Overhex-Nuy gebied naby Worcester. Unpubl MSc (Agric) thesis, Univ Stellenbosh, 1966.

THERON GK. Die verskynsel van kaal kolle in Kaokoland. Suidwes-Afrika J S Afr Biol Soc. 1979;20:43–53.

THORNE, B.L., GRIMALDI, D.A., KRISHNA, K. Early Fossil History of the Termites. In: Abe, T., Bignell, D.E., Higashi, M. (eds) Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology. Springer, Dordrecht, 2000, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-017-3223-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-017-3223-9_4)

THORNE, BARBARA L. "Evolução da eusocialidade em cupins." Revisão Anual de Ecologia e Sistemática 28, no. 1 (1997): 27-54.

TOWNSEND R.C.; BEGON M.; HARPER L.J. Essentials of Ecology. Univerzita Palackého v Olomouci, 2008.

TRANIELLO, James FA; LEUTHOLD, Reinhard H. Comportamento e ecologia de forrageamento em cupins. **Cupins: evolução, sociabilidade, simbioses, ecologia**, p. 141-168, 2000.

TRAPNELL, C.G. AND WEBSTER, R. Microaggregates in red earths and related soils in East and Central Africa, their classification and occurrence. Journal of Soil Science 37, 109-123, 1986.

TUNDISI, J. Ciclo Hidrológico e gerenciamento integrado. Ciência e Cultura., v. 55, n. 4, 2003.

VAN DER MERWE CR., Soil groups and subgroups of South Africa. Dept Agric Union S Afr Sci Bull 231p. 1940.

VAN DER WALT, A.J., JOHNSON, R.M., COWAN, D.A., SEELY, M. & RAMOND, J.B. (2016) Unique microbial phylotypes in Namib Desert dune and gravel plain fairy circle soils. *Applied and Environmental Microbiology*, 82, 4592–4601.

VAN ROOYEN, M.W., THERON, G.K., VAN ROOYEN, N., JANKOWITZ, W.J. & MATTHEWS, W.S. (2004) Mysterious circles in the Namib Desert: Review of hypotheses on their origin. *Journal of Arid Environments*, 57, 467–485.

VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. *Biologia dos Solos dos Cerrados*. Brasília – DF: EMBRAPA, 1997. 524p.

VASCONCELOS, V., MARTINS, ÉDER DE S., CARVALHO JÚNIOR, O. A. DE, MARQUES JÚNIOR, J., SIQUEIRA, D. S., COUTO JÚNIOR, A. F., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T., & REATTO, A. (2013). MODELO DE EVOLUÇÃO PEDOGEOMORFOLÓGICA DA SERRA DA CANASTRA, MG. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, 14(2). <https://doi.org/10.20502/rbg.v14i2.379>

VIEIRA, A; BENTO-GONÇALVES, A. *Investigação sobre erosão e degradação dos solos afetados por incêndios florestais*. 2015.

VISSER HN, TOERIEN DK. Die geologie van die gebied tussen Vredendal an Elandsbaai. Geol Surv S Afr Expl Sheets 3118C and 3218<sup>a</sup>, 1971.

VLIEGHE, K., PICKER, M., ROSS-GILLESPIE, V. & ERNI, B. Herbivory by subterranean termite colonies and the development of fairy circles in SW Namibia. *Ecological Entomology*, 40, 42–49, 2015.

VON HOLDT JR, MIDGLEY JJ, VON HOLDT CJ, CRAMER MD. Avaliando as evidências das origens eólicas de montes semelhantes a mima na África do Sul. **Catena** 212, 2022, 106041. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106041>

WALSH, Fiona et al. First Peoples’ knowledge leads scientists to reveal ‘fairy circles’ and termite linyji are linked in Australia. **Nature Ecology & Evolution**, v. 7, n. 4, p. 610-622, 2023.

WALTER, B. M.T. *Fitofisionomias do Bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas*. 2006. 373 f. TESE (Doutorado) Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília.

WALTER, Henrich. *Vegetação e zonas climáticas: análise ecológica de regiões com diferentes formas de vegetação no mundo inteiro*. São Paulo: Edgard Blücher, 1986.

WASHBURN, A.L. **Mima mounds, an evaluation of proposed origins with special reference to the Puget Lowlands Report of Investigations, State of Washington**, Department of Natural Resources, Division of Geology and Earth Resources Report, n. 29, Olympia, Washington, 1988.

WASHBURN, A.L. *Mima mounds, an evaluation of proposed origins with special reference to the Puget Lowlands Report of Investigations, State of Washington*,

Department of Natural Resources, Division of Geology and Earth Resources Report, n. 29, Olympia, Washington, 1988.

WEBSTER, R. Spectral analysis of gilgai soil. **Soil Research**, v. 15, n. 3, p. 191-204, 1977.

WHITFORD, W. G., & ELDRIDGE, D. J. (2013). Subterranean termites and ecosystem processes. Springer Science & Business Media.

WHITFORD, W. G., ELDRIDGE, D. J. (2013). Effects of ants and termites on soil and geomorphological processes. In J. Shroder, (Editor in Chief), D. R. Butler, C. R. Hupp (Eds.), *Treatise on geomorphology*. (vol. 12, pp. 281–292). San Diego, CA: Academic Press. *Ecogeomorphology*

WHITFORD, W. G.; ELDRIDGE, D. J. 12.19 Effects of Ants and Termites on Soil and Geomorphological Processes. In: *Treatise on Geomorphology*. [s.l.] Elsevier, 2013a. p. 281–292

WILKINSON, M. T.; RICHARDS, P. J.; HUMPHREYS, G. S. Breaking ground: Pedological, geological, and ecological implications of soil bioturbation. *Earth-Science Reviews*, v. 97, n. 1–4, p. 257–272, dez. 2009.

WILSON, J. Warren; LEIGH, J. H. Vegetation patterns on an unusual gilgai soil in New South Wales. **The Journal of Ecology**, p. 379-389, 1964.

WOOD, T.G. The agricultural importance of termites in the tropics. *Agricultural Zoology Reviews* 7, 117-155, 1996.

YORK, R. A.; PATIL, C.; HULSEY, C. D.; STREELMAN, J. T.; FERNALD, R. D. Evolution of bower building in Lake Malawi cichlid fish: phylogeny, morphology, and behavior. *Frontiers in Ecology and Evolution*, v. 3, 27 fev. 2015.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MÜLLER, J.; SCHWERTMANN, U. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, v. 79, n. 1-4, p. 117-161, 1997.