

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

RAFAEL FERREIRA DUARTE

**DISTRIBUIÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO E CARACTERÍSTICAS
AMBIENTAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO CAMPO ALEGRE,
EM UBERLÂNDIA, MG**

Uberlândia, MG

2025

RAFAEL FERREIRA DUARTE

DISTRIBUIÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO E CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO CAMPO ALEGRE, EM UBERLÂNDIA, MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof^a. Dra. Araína Hulmann Batista

Uberlândia - MG

2025

RAFAEL FERREIRA DUARTE

**DISTRIBUIÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO E CARACTERÍSTICAS
AMBIENTAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO CAMPO ALEGRE, EM
UBERLÂNDIA, MG**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Ciências
Agrárias da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Agronomia.

Uberlândia, 12 de setembro de 2025

Banca Examinadora:

Araína Hulmann Batista – Doutora (ICIAG)

Larissa Barbosa de Sousa – Doutora (ICIAG)

Tatiane Pereira Santos Assis - Doutora (ICIAG)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, com todo o meu coração, à minha mãe, minha maior inspiração. Foi ela quem me mostrou, desde cedo, o poder transformador da educação. Ver sua trajetória como a primeira da família a conquistar um diploma universitário, justamente na mesma universidade onde hoje concluo minha graduação, é algo que carrego com imenso orgulho. Seu amor pelos solos despertou em mim a paixão que me fez escolher a Agronomia.

À Profª. Dra. Araína Hulmann Batista, minha eterna orientadora, deixo minha profunda gratidão. Na sala 403, vivi momentos marcantes que ultrapassaram os limites da vida acadêmica. Com ela aprendi, chorei, cresci. Sua escuta sensível e orientações cuidadosas fizeram toda a diferença na minha formação.

Ao NEGenS, meu sincero obrigado. Ali descobri o valor da coletividade, construí amizades e amadureci como estudante e como ser humano. Junto ao grupo, também agradeço ao PET Agronomia, onde aprendi a trabalhar em equipe, a escutar e a respeitar as diferenças. Agradeço, especialmente, à Profª. Larissa, tutora que me acolheu com empatia e sabedoria.

À Turma 71, em especial às amigas Vitória, Hanna e Aparecida, minha gratidão pelo companheirismo. Nos jogos, nas conversas, nos estudos e nos momentos difíceis, vocês tornaram a jornada mais leve.

Aos amigos de outras turmas e aos de infância, Júlia, Mylena e Tamyres, obrigado por permanecerem ao meu lado, mesmo quando a vida acadêmica me afastou por um tempo.

Ao meu namorado, que esteve comigo em grande parte dessa trajetória, meu agradecimento mais sincero. Obrigado pelas caronas, pelas revisões de última hora, pelo apoio em campo e, acima de tudo, pelo amor constante.

Por fim, à minha família, meu amor eterno. Aos meus irmãos, pai, madrasta, padrasto, avós e primos, obrigado por me apoiarem, respeitarem minhas escolhas e celebrarem comigo cada conquista. Em especial, ao meu irmão Alexandre: sigo torcendo por você, sempre.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição do carbono orgânico total (COT) no solo e sua relação com as características ambientais na bacia hidrográfica da vereda do Córrego Campo Alegre, localizada na zona urbana de Uberlândia-MG, que se encontra em avançado estado de degradação. Para a análise, foram coletadas 50 amostras de solo na profundidade de 0-20 cm para determinar os teores de COT pelo método de Walkley-Black, além da caracterização da textura e de um perfil de solo para classificação pedológica. Os resultados revelaram baixos teores de COT, com média de 0,94%, indicando um cenário de degradação ambiental quando comparado a ecossistemas de veredas preservadas. A distribuição do carbono foi influenciada pelo relevo e pela textura do solo, com maiores concentrações em áreas de menor altitude e com maiores teores de argila, enquanto as áreas mais altas e íngremes apresentaram perdas acentuadas por processos erosivos. O solo foi classificado como Neossolo Flúvico Psamítico, de elevada fragilidade natural. Conclui-se que a perda de carbono está diretamente associada à erosão, ao uso e ocupação inadequados da terra no entorno e à fragilidade do solo, reforçando a urgência de ações integradas para a recuperação ambiental da área.

Palavras-chave: Carbono Orgânico Total. Áreas Úmidas. Vereda. Degradação Ambiental. Neossolo Flúvico.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the distribution of total organic carbon (TOC) in the soil and its relationship with environmental characteristics in the watershed of the Córrego Campo Alegre, the wetland is located in the urban area of Uberlândia-MG, which is in an advanced state of degradation. For the analysis, 50 soil samples were collected at a depth of 0-20 cm to determine TOC levels by the Walkley-Black method, in addition to the characterization of the texture and a soil profile for pedological classification. The results revealed low levels of TOC, with an average of 0.94%, indicating a scenario of environmental degradation when compared to preserved *wetland* ecosystems. The carbon distribution proved to be influenced by relief and texture, with higher concentrations in areas of lower altitude and with higher clay content, while the higher and steeper areas showed marked losses due to erosive processes. The soil was classified as a Fluvisol, characterized by its high natural fragility. It is concluded that the carbon loss is directly associated with erosion, inadequate land use and occupation in the surroundings, and the soil's fragility, reinforcing the urgency of integrated actions for the environmental recovery of the area.

Keywords: Total Organic Carbon. Wetlands. Environmental Degradation. Fluvisol.

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
1. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Localização da área e coleta de amostras.....	14
3.2 Análise de Carbono Orgânico Total (COT).....	15
3.3 Classificação e descrição de perfil de solo.....	17
3.4 Dados Texturais.....	19
3.5 Geração de mapas e análise espacial de carbono orgânico total (COT).....	20
1. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1 Teores de Carbono Orgânico Total no Solo.....	21
4.2 Distribuição Espacial do Carbono Orgânico Total.....	23
4.3 Associação entre Textura do Solo e COT.....	26
4.4 Efeito da altitude na distribuição do COT.....	27
4.5 Caracterização do Perfil de Solo e Implicações Pedaambientais.....	29
4.6 Fatores Condicionantes da Distribuição do COT.....	34
5. CONCLUSÕES.....	36
6. REFERÊNCIAS.....	37

1. INTRODUÇÃO

As veredas, áreas úmidas no bioma Cerrado, apresentam uma camada de vegetação herbáceo-subarbustiva, com presença significativa de *Mauritia flexuosa*, e apresentam elevada diversidade de plantas e estrutura complexa. Esses sistemas naturais possuem grande importância ecológica, destacando-se pela elevada biodiversidade e pelos relevantes serviços ambientais que oferecem (ÁVILA *et al.*, 2021). Geralmente localizadas em áreas de vale, as veredas são mantidas pelo afloramento constante do lençol freático, o que garante um solo encharcado durante a maior parte do ano. No Triângulo Mineiro, mesmo em estações secas e com altas temperaturas, como no inverno, essas áreas permanecem úmidas, em contraste com o entorno. Sua relevância ambiental está associada à conservação da fauna e flora, à regulação hídrica, ao controle de processos erosivos e à proteção dos mananciais (COSTA *et al.*, 2023).

Uma das características mais marcantes das veredas é a presença de solos hidromórficos, que possuem propriedades químicas, físicas, morfológicas e mineralógicas únicas. A constante saturação por água nesses solos favorece reações redox específicas, resultando em acúmulo de matéria orgânica e na formação de horizontes hísticos ou gleizados. Essa dinâmica não apenas sustenta a biodiversidade local, mas também contribui significativamente para a regulação ambiental, especialmente no ciclo do carbono (SOUSA, 2011).

Os solos hidromórficos podem ser facilmente identificados em campo por sua morfologia única, como as cores escuras e acinzentadas, típicas de ambientes de acúmulo de matéria orgânica e água, com baixa oxigenação. Estes aspectos morfológicos facilitam a delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APPs), limites esses que são essenciais nas áreas de mananciais, como as veredas. Conforme a Lei nº 20.922, de 16/10/2013 (Código Ambiental de Minas Gerais), é obrigatório manter uma faixa de proteção de, no mínimo, 50 metros a partir do limite desses solos. No entanto, como observado em campanhas de campo em diversas áreas de veredas no Triângulo Mineiro, o descumprimento dessa legislação é comum em muitas propriedades, que utilizam essas áreas para urbanização e atividades agrícolas e pecuárias, comprometendo gravemente a integridade das veredas.

Um dos principais atributos dos solos, especialmente em solos hidromórficos, é o teor de carbono orgânico total (COT). O carbono orgânico é fundamental porque influencia diretamente as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, como a fertilidade, a capacidade de retenção de água e a estabilidade estrutural, além de ser um indicador importante da saúde e da sustentabilidade dos ecossistemas (PILLON *et al.*, 2004). Os solos

orgânicos, em regiões de clima tropical, caracterizam-se pelo acúmulo significativo de carbono em algumas camadas, refletindo processos de decomposição lenta em razão da saturação hídrica constante (MENDONÇA *et al.*, 2008). Dentre os diversos componentes da matéria orgânica, o carbono orgânico total (COT) é frequentemente utilizado como indicador da qualidade e do estado de conservação do solo, por refletir processos de acúmulo e decomposição da biomassa. Sua presença influencia diretamente atributos como a agregação, retenção de água, capacidade de troca catiônica, atividade biológica e dinâmica de nutrientes.

No contexto das mudanças climáticas e da intensificação do uso da terra, compreender os padrões de distribuição do COT se torna uma ferramenta estratégica para o monitoramento ambiental e para o planejamento do uso do solo. Além disso, a matéria orgânica atua como filtro natural ao adsorver metais pesados, agrotóxicos e outros contaminantes, evitando que esses entrem em aquíferos e corpos d'água. Solos com maior teor de matéria orgânica apresentam menor risco de lixiviação de nitrato, especialmente em sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária-floresta, contribuindo para a proteção da água subterrânea (NOVOTNY, 2022). Por fim, esse conjunto de benefícios melhora a qualidade da água, reduzindo poluição e eutrofização, e favorece o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos e a disponibilidade de água para consumo humano.

O estoque de carbono (Est-C) nos solos hidromórficos resulta, em grande parte, da captura do dióxido de carbono atmosférico por meio da fotossíntese — processo no qual a biomassa vegetal converte o CO₂ em compostos orgânicos. Esses compostos, ao serem incorporados ao solo por meio da deposição e decomposição da matéria vegetal, constituem o carbono orgânico, que desempenha papel essencial na fertilidade e na capacidade de retenção hídrica dos solos (REEVES *et al.*, 1997). Além disso, os estoques de carbono reforçam o papel desses ambientes como sumidouros naturais de gases de efeito estufa, exercendo influência crucial na regulação do clima global (LAL, 2004).

Como já mencionado, dentre os atributos edáficos mais sensíveis nos ambientes de veredas, destaca-se a elevada concentração de carbono orgânico presente nos horizontes superficiais e subsuperficiais, frequentemente associados à formação de horizontes hísticos (teores superiores a 80 g kg⁻¹ de carbono orgânico total). Apesar de sua importância ecológica e funcional, esses solos apresentam elevada vulnerabilidade a distúrbios que alterem seu regime de umidade.

A drenagem artificial, o rebaixamento do lençol freático, o pisoteio excessivo por animais e a urbanização estão entre os principais fatores que desencadeiam a oxidação

acelerada da matéria orgânica acumulada, transformando esses solos de reservatórios em potenciais emissores de CO₂ para a atmosfera, comprometendo não apenas os serviços ecossistêmicos prestados por essas áreas úmidas, como a regulação hídrica e a biodiversidade, mas também contribuindo diretamente para o agravamento das mudanças climáticas. A urbanização, somada ao uso inadequado do solo, representa uma das principais causas de degradação das veredas, pois pode alterar irreversivelmente a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS), afetando suas propriedades químicas, físicas e biológicas (RODRIGUES et al., 2017). Atualmente, esses ambientes enfrentam severa degradação em todo o bioma Cerrado, resultado, em grande parte, da conversão do uso do solo para pastagens e agricultura, processo que tem levado à perda de nascentes e à diminuição da vazão de cursos d'água (ALMEIDA et al., 2017). A pressão antrópica, incluindo desmatamento e atividade pecuária intensiva, também resulta em alterações hidrológicas significativas e perda de habitats (COSTA et al., 2015), ocasionando redução na capacidade de retenção de água e carbono, na biodiversidade e na estabilidade ecológica. Além disso, o manejo inadequado intensifica a erosão, aumenta o assoreamento dos corpos d'água e compromete a qualidade dos recursos hídricos, impactando negativamente tanto o meio ambiente quanto as atividades humanas que dependem desses recursos (YARDAM et al., 2017).

Estudos mais recentes em veredas do Cerrado brasileiro mostram estoques de carbono orgânico extremamente altos. Souza *et al.* (2025) mediram estoques médios de até 462,6 Mg ha⁻¹ em ambientes de veredas até 1,2 m de profundidade, totalizando cerca de 321,9 Mg ha⁻¹ no perfil completo (0–120 cm), em um estudo realizado em Minas Gerais. Dessa forma, tanto o estudo específico em veredas quanto os dados de estoque de solo no Brasil apontam para o papel das paisagens úmidas como sumidouros naturais de CO₂, com implicações claras para políticas de mitigação das mudanças climáticas (FERREIRA *et al.*, 2021).

Diversos fatores interferem na distribuição do carbono orgânico no perfil e na paisagem, sendo a textura do solo e o relevo (especialmente a altitude) elementos de destaque na literatura. Solos com maior teor de argila apresentam maior proteção física da matéria orgânica devido à formação de complexos organo-minerais estáveis, o que favorece o acúmulo de carbono ao longo do tempo (LIMA, 2022). Da mesma forma, o relevo atua como fator condicionante da dinâmica hidrológica e da redistribuição de sedimentos, influenciando o transporte, a retenção ou a perda de matéria orgânica por processos erosivos ou de deposição. Áreas de maior altitude, em geral, estão mais expostas à ação direta de agentes

erosivos, enquanto zonas mais baixas podem funcionar como ambientes de deposição e maior acúmulo de material orgânico. As áreas úmidas, devido à sua posição topográfica nos terços inferiores das vertentes, tendem a acumular umidade e materiais transportados de regiões mais altas, o que influencia diretamente na formação e evolução dos solos (CHRISTOFOLETTI, 2013). Além disso, fatores como o regime hidrológico, o tipo de vegetação, a temperatura, a umidade do solo, o pH, o tipo de argila, a atividade microbiana e o grau de humificação da MOS também interferem no armazenamento de carbono (MACHADO, 2014).

A bacia hidrográfica do Córrego Campo Alegre, localizada no município de Uberlândia (MG), insere-se no bioma Cerrado e tem sofrido alterações importantes em sua paisagem, resultado da expansão urbana e de práticas agrícolas variadas. No entanto, mesmo com a pressão antrópica, há lacunas no conhecimento sobre os padrões de distribuição de atributos edáficos na região, sobretudo do carbono orgânico. Compreender a dinâmica do carbono orgânico total em solos de veredas degradadas é fundamental para a elaboração de estratégias de manejo e conservação. Através da criação de mapas e do geoprocessamento dos teores de carbono total no solo, este trabalho busca aprofundar o conhecimento sobre os padrões de distribuição desse elemento, fornecendo informações cruciais para a compreensão das relações entre a degradação ambiental, o uso do solo e o estoque de carbono em ecossistemas tão vitais.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a distribuição do carbono orgânico total no solo da bacia hidrográfica do Córrego Campo Alegre, vereda em severo processo de degradação, no município de Uberlândia (MG), relacionando-a com variáveis ambientais como altitude e textura do solo.

2.2 Objetivos Específicos

1. Determinar o teor de carbono orgânico total do solo até 20 cm de profundidade na bacia do Córrego Campo Alegre.
2. Mapear a distribuição espacial do carbono orgânico total nos solos da bacia do Córrego Campo Alegre, em Uberlândia, MG.
3. Associar o carbono orgânico total dos solos com os tipos de uso e ocupação da área.

4. Caracterizar as classes texturais dos solos amostrados e verificar sua associação com os teores de carbono orgânico total.

5. Identificar possíveis padrões espaciais que ajudem a compreender a dinâmica do carbono na bacia, considerando o relevo e a textura do solo como fatores condicionantes.

1. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área e coleta de amostras

O estudo foi conduzido em uma vereda situada na zona urbana do município de Uberlândia, Minas Gerais, inserida na microbacia do córrego Campo Alegre, no bairro Laranjeiras (Figura 1). A área encontra-se severamente degradada por processos erosivos, provocados pelo uso e ocupação do solo do entorno (Figura 2). Os processos erosivos são descritos desde o final da década de 80 em diversos estudos desenvolvidos na área (CUNHA, 2011).

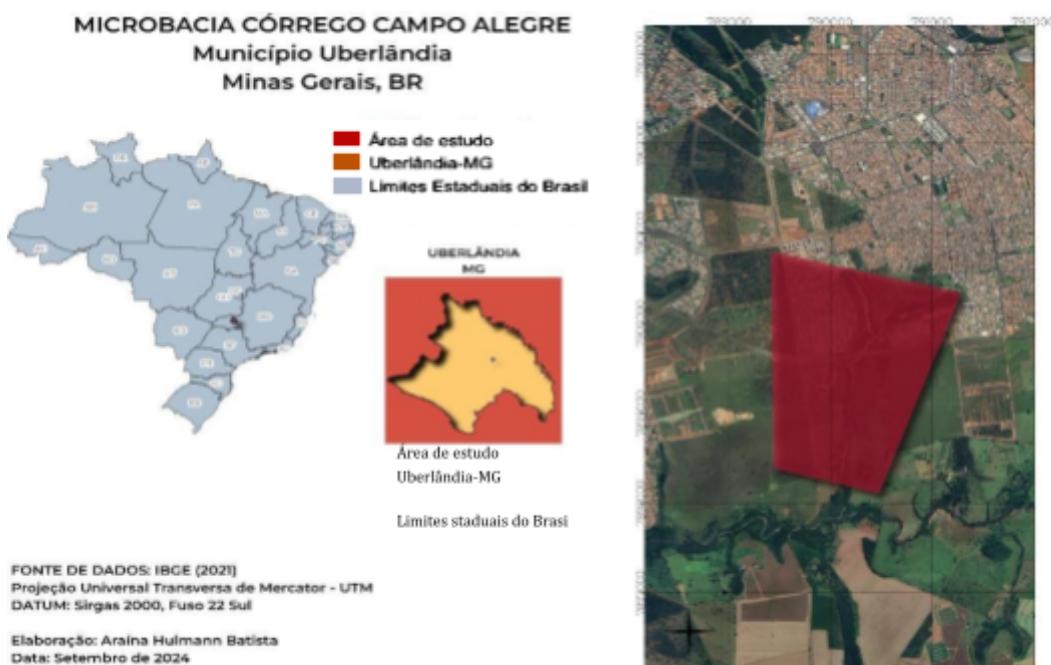


Figura 1. Localização da área do estudo.

A delimitação e georreferenciamento dos pontos amostrais foram realizados com o auxílio de imagens de satélite do Google Earth e do software QGIS. No total, foram

definidos 50 pontos em uma malha regular, com espaçamento de 50 metros entre eles. Em cada ponto, com auxílio de trado holandês, foram coletadas quatro amostras simples de solo, na profundidade de 0 a 20 cm, que posteriormente foram homogeneizadas para compor uma amostra composta. A área total de estudo compreende 354 hectares, sendo que cada ponto de coleta representa, aproximadamente, um setor de 7 hectares.

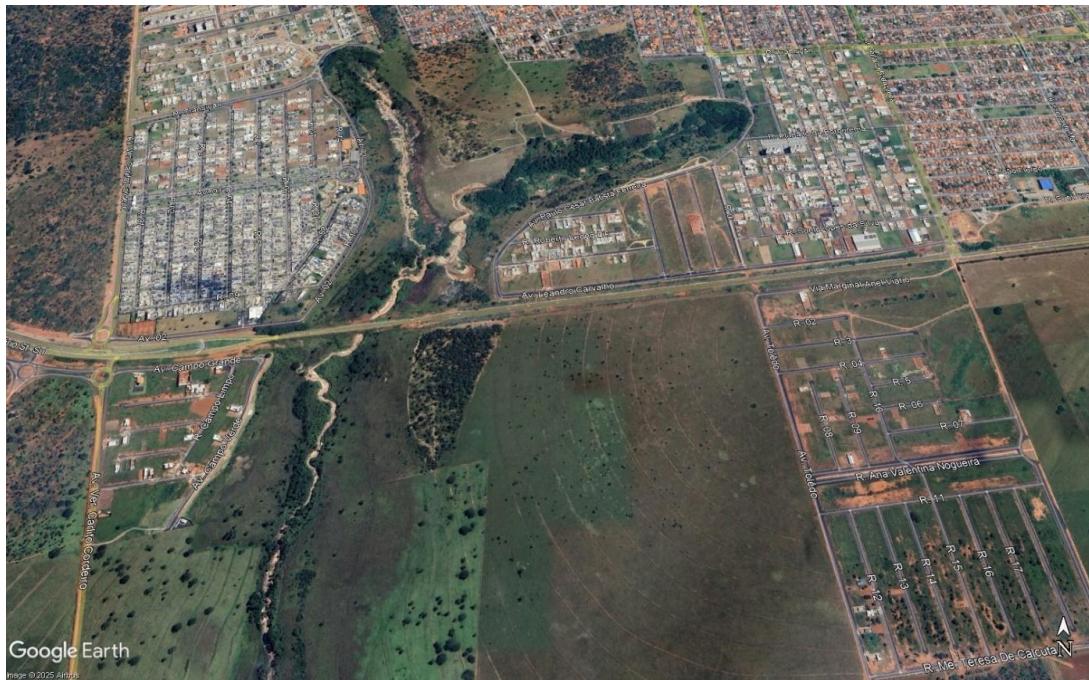


Figura 2. Imagens aéreas do Córrego Campo Alegre, obtidas por drone no ano de 2024. O ponto em destaque mostra o local escolhido para abertura da trincheira e classificação do solo. Fonte: Google Earth, 2025.

3.2 Análise de Carbono Orgânico Total (COT)

Após a coleta, as amostras de solo foram armazenadas em sacos plásticos identificados e transportadas ao laboratório de pedologia (LAPED) da Universidade Federal de Uberlândia, onde foram secas à sombra. Em seguida, o material foi destorrado manualmente e peneirado em malha de 2 mm para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), conforme método descrito no manual de análises de solo e planta, da Embrapa (2017), com o objetivo de padronizar as amostras para análises laboratoriais.

O COT foi determinado por digestão via úmida, seguindo o método Walkley-Black, conforme descrito por Yeomans & Bremner (1988), porém com uma adaptação importante: não foi realizado o aquecimento das amostras. Enquanto o método original inclui a digestão

em bloco aquecido a 170°C por 30 minutos para oxidar o carbono orgânico, o procedimento adotado no estudo foi a reação química exotérmica realizada em temperatura ambiente, mantendo-se todo o restante do protocolo conforme a referência (Figura 3).



Figuras 3. Análises de teor de carbono orgânico no solo, método de Walkley-Black. Fonte: Acervo do autor (2024).

Primeiramente, as amostras de solo foram trituradas e peneiradas em malha de 0,5 mm para homogeneização. Em seguida, foram pesados 300 mg do solo, garantindo que a quantidade de carbono orgânico não ultrapassasse 8 mg. Essas amostras foram transferidas para tubos de 100 mL, onde foram adicionados 5 mL da solução de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) a 0,167 mol/L e 10 mL de ácido sulfúrico concentrado. Diferentemente do procedimento com aquecimento, a mistura reagiu em temperatura ambiente sem inserir as amostras no bloco digestor.

Após a reação, foi transferido quantitativamente o conteúdo do tubo para um béquer graduado de 100 mL, completando o volume próximo a 50 mL com água destilada. Em seguida, foram adicionados, uma pitada de fluoreto de sódio e aproximadamente 0,3 mL (5 a 8 gotas) de solução indicadora ferroin. A titulação foi realizada com solução de sulfato ferroso até a mudança de cor do indicador, que ocorreu do verde para o vermelho, indicando o ponto final.

Amostras “controle” foram preparadas - contendo apenas reagentes - para corrigir possíveis consumos de dicromato não relacionados à oxidação do carbono orgânico. O teor de carbono foi então calculado a partir do volume de titulante gasto nas amostras, utilizando os controles para correção.

3.3 Classificação e descrição de perfil de solo

Na nova etapa de amostragem, realizada na mesma vereda no segundo semestre de 2024, foi descrito um perfil de solo em um ponto onde a erosão expôs os horizontes do solo (Figura 4). A abertura e limpeza do perfil foi realizada manualmente, permitindo a identificação precisa dos horizontes diagnósticos e a coleta de amostras para análises complementares.

A descrição morfológica seguiu os critérios estabelecidos pela literatura (Embrapa, 2018), considerando aspectos como espessura, cor, estrutura, consistência e presença de material orgânico em cada horizonte identificado. A determinação da cor dos horizontes foi realizada com o auxílio da Carta de Cores de Munsell para solos, sob iluminação natural difusa, de modo a garantir a fidelidade da observação. As informações obtidas nesse perfil contribuíram para a compreensão mais aprofundada das características edafomorfológicas da vereda, complementando os dados obtidos nas amostragens pontuais da bacia.



Figuras 4. A. Coleta e descrição do perfil de solo para fins de classificação. B. Detalhes da superfície erodida. Fonte: Acervo do autor (2024).

Foram realizadas análises físicas e químicas nos solos coletados dos diferentes horizontes do perfil descrito. A textura foi determinada pelo método da pipeta, conforme método descrito no *Manual de Métodos de Análise de Solo* da Embrapa (2017) (Figura 5). Complementarmente, realizou-se a análise da argila dispersa em água (ADA), utilizando-se a metodologia proposta por Lima et al. (2017), com o objetivo de avaliar o grau de dispersão das partículas finas, um indicador importante da estabilidade estrutural e da suscetibilidade à erosão.

As análises químicas incluíram a determinação do pH do solo em água, de acordo com os procedimentos descritos por Raij et al. (2001), visando caracterizar o ambiente químico do solo e fornecer subsídios para a compreensão dos processos de acidificação nos diferentes horizontes.

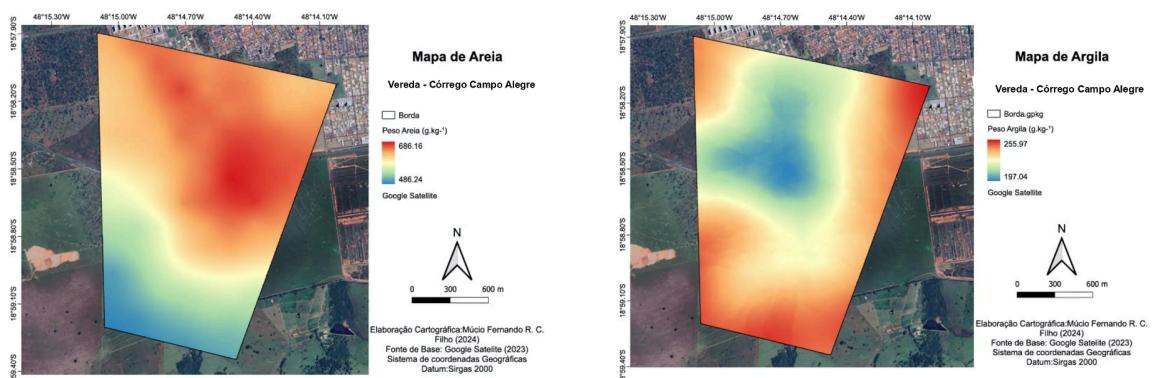
Com base na descrição morfológica do perfil e nos resultados obtidos nas análises laboratoriais, procedeu-se à classificação taxonômica do solo segundo os critérios estabelecidos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), conforme Santos et al. (2018). Essa classificação permite integrar as evidências de campo e laboratório, resultando em uma interpretação mais robusta da gênese e da organização vertical dos horizontes observados na área de vereda.



Figura 5. Preparo da amostra de solo para análise textural em laboratório e etapa de pipetagem durante a análise textural do solo. Fonte: Acervo do autor (2025).

3.4 Dados Texturais

Os dados texturais dos 50 pontos da amostragem de solos (amostras georreferenciadas) foram cedidos por Laura Caroline Alves Cardoso, autora de trabalho anterior com foco na distribuição espacial de metais pesados na mesma área de estudo (Cardoso, L. 2024) (Figura 6). As análises granulométricas foram realizadas a partir das mesmas amostras de solo utilizadas neste trabalho.



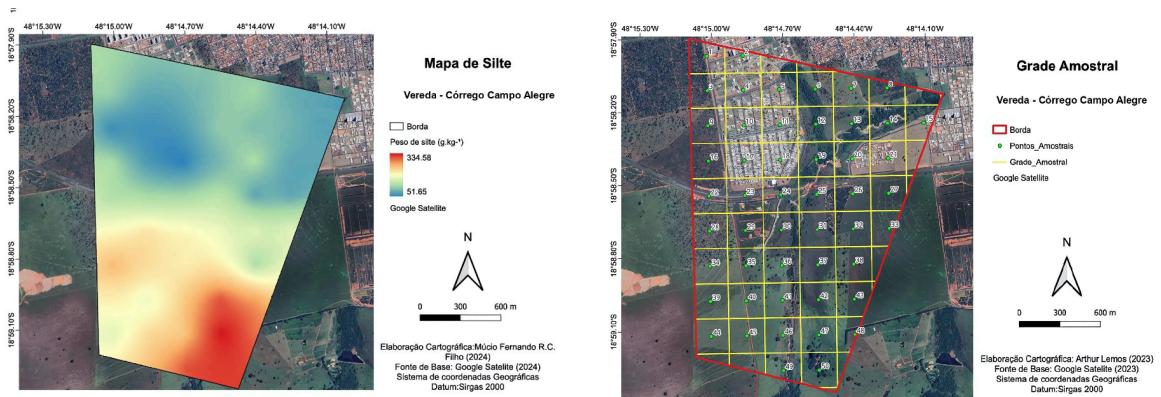


Figura 6. Mapas de distribuição espacial das frações granulométricas do solo (areia, silte e argila) e localização dos pontos amostrais na microbacia do Córrego Campo Alegre, Uberlândia (MG).

3.5 Geração de mapas e análise espacial de carbono orgânico total (COT)

Com base nos resultados do carbono orgânico total (COT) foi elaborado o mapa de distribuição espacial do COT na área de estudo. O mapeamento foi conduzido no software QGIS (versão 3.34.14-Prizren), utilizando os dados provenientes de 50 pontos amostrais previamente georreferenciados.

A interpolação espacial foi realizada por meio do método de krigagem, que permite estimar os valores de COT para áreas não amostradas com base na continuidade espacial dos dados observados. O método adotado foi selecionado considerando a densidade dos pontos e a natureza contínua do atributo avaliado. As classes de valores foram organizadas em faixas definidas a partir de estatísticas descritivas, permitindo a visualização de padrões espaciais e possíveis zonas de acúmulo ou depleção de matéria orgânica no solo.

A partir dos valores obtidos para as frações granulométricas (areia, silte e argila) e para o carbono orgânico total (COT), foi elaborada uma matriz de correlação de Pearson, com o objetivo de avaliar a intensidade e a direção das associações lineares entre esses atributos. A análise foi conduzida no software Excel, considerando nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Esses resultados permitiram verificar a existência de correlações estatisticamente significativas entre a textura do solo e os teores de matéria orgânica, auxiliando na interpretação da distribuição espacial do COT observada na área de estudo.

1. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teores de Carbono Orgânico Total no Solo

A análise dos teores de carbono orgânico total (COT) no solo, obtida a partir de 50 pontos amostrais na vereda, revelou uma variação bastante estreita, com valores entre 0,37% e 2,19% de COT. A média foi de 0,94%, com desvio-padrão de 0,43% (Tabela 1).

Tabela 1. Carbono Orgânico Total (0–20 cm) nos Pontos Amostrais da Vereda Córrego Alegre.

Pontos	COT								
g/kg									
1	5,02	11	13,74	21	5,83	31	6,38	41	9,57
2	5,18	12	12,38	22	14,01	32	7,45	42	8,78
3	5,29	13	5,56	23	3,65	33	10,37	43	11,17
4	8,02	14	9,65	24	8,29	34	7,98	44	5,98
5	7,47	15	8,56	25	5,83	35	7,45	45	7,18
6	9,92	16	5,02	26	7,20	36	5,59	46	10,37
7	4,20	17	14,29	27	8,56	37	6,38	47	16,76
8	7,47	18	14,01	28	12,92	38	7,58	48	9,97
9	10,20	19	9,11	29	5,05	39	9,57	49	21,94
10	13,74	20	2,13	30	6,38	40	10,37	50	21,54

Essa variabilidade, consideravelmente menor que a observada em outras veredas, destaca-se de forma clara quando comparada aos padrões típicos de solos hidromórficos preservados. Como demonstram os dados de Santos *et al.* (2023), solos de veredas pouco alteradas frequentemente apresentam teores médios de COT variando de 10% a 25% nos horizontes orgânicos, o que equivale a até 250 g/kg. Em áreas com algum grau de impacto humano, esses valores caem para aproximadamente 15,7%, ou 157 g/kg. A presença de valores da ordem de apenas 1% na área estudada, evidencia que o carbono orgânico já foi amplamente removido em função da degradação. Ressalta-se que a área apresenta remoção completa dos solos devido à atuação de processos erosivos do tipo voçoroca (Figura 7). Com base em observações de campo, estima-se que houve a retirada de uma espessura média de aproximadamente 15 metros ao longo do eixo central da vereda – justamente o setor mais rebaixado da paisagem, onde o solo, em condições naturais, permaneceria saturado durante todo o ano.



Figura 7. Processos erosivos do tipo voçoroca.

Embora a homogeneidade entre os pontos amostrados indique uma dinâmica pedogenética relativamente uniforme, isso ocorre em patamares baixos a extremamente baixos de carbono, o que indica um estado crítico de degradação ambiental. Nota-se que, no conjunto de 50 pontos amostrados, a distribuição por faixa de COT indica que 6% dos pontos apresentam valores superiores a 20g/kg, 26% encontram-se na faixa de 10 a 20g/kg e 68% possuem teores abaixo de 10g/kg, ou seja, menos de 1% de COT (Tabela 1).

Áreas úmidas preservadas atuam como importantes reservatórios naturais de carbono, apresentando frequentemente solos com horizonte hístico e teores de COT iguais ou superiores a 80g/kg (EMBRAPA, 2018). Mesmo Latossolos, típicos das porções mais elevadas e planas do relevo, quando sob vegetação nativa de cerrado, apresentam teores acima de 1% de matéria orgânica, como demonstrado em estudos como o de Resende (2011) na Bacia do Ribeirão Bom Jardim (Triângulo Mineiro), apresentaram teores médios de 1.5 a 2% de COT na camada de 0 – 10 cm.

A elevada variabilidade nos teores de COT observados nos dados era esperada (coeficiente de variação de 45,92%), visto que as diferenças altimétricas dentro da bacia hidrográfica influenciam a distribuição de classes de relevo e solos, condicionando a dinâmica da mineralização e imobilização da matéria orgânica do solo. No caso específico da área

estudada, os baixos teores predominantes provavelmente refletem a combinação de remoção da vegetação nativa, revolvimento e compactação do solo, além do histórico de alteração hidrológica com drenagem e diminuição do nível de base do lençol freático provocada pelo severo processo erosivo, o que acelera a decomposição da matéria orgânica e reduz o acúmulo de carbono no perfil do solo.

Tabela 2. Estatística descritiva para os teores de carbono orgânico total (COT - g/kg) dos 50 pontos amostrados na profundidade de 0-20cm na bacia hidrográfica do Córrego Campo Alegre, Uberlândia, MG.

	Número amostras	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Variância	CV(%)
Carbono Orgânico Total (g/kg)	50	9,4	4,31	3,65	18,65	45,92

A delimitação da Área de Preservação Permanente (APP), na vereda estudada, não segue os parâmetros legais atualmente estabelecidos. Mesmo que estivesse dentro da legalidade, ainda assim não garantiria a preservação completa do ecossistema. Conforme aponta Barbosa (2016), em estudo de uma área de APP ao redor de uma vereda no Mato Grosso do Sul, seria necessária uma ampliação de 210.000 m² para garantir sua proteção. Embora essa recomendação seja específica para aquela realidade, o estudo serve como um importante alerta: ele demonstra que os critérios legais vigentes podem ser insuficientes para proteger ecossistemas em outras localidades também. Assim, o trabalho reforça a necessidade de uma revisão ampla dos parâmetros de demarcação de APPs, adequando-os às características científicas de cada bioma.

Por fim, observa-se que a ausência de ações para recuperação da área, contribui diretamente para o avanço do processo de degradação. A intervenção humana, como o desmatamento e o manejo inadequado do solo, tem promovido a drenagem acelerada dos horizontes superficiais, o que reduz a capacidade de retenção hídrica e intensifica processos erosivos.

4.2 Distribuição Espacial do Carbono Orgânico Total

A Figura 8 apresenta a distribuição espacial do Carbono Orgânico Total (COT) nos pontos amostrados ao longo da área de estudo. Ressalta-se que ao comparar a área com veredas bem preservadas, que apresentam teores de carbono superiores a 15% nos horizontes

históricos, os valores de aproximadamente 2% (SILVA, 2014) encontrados nesta área indicam um estado de degradação considerável.

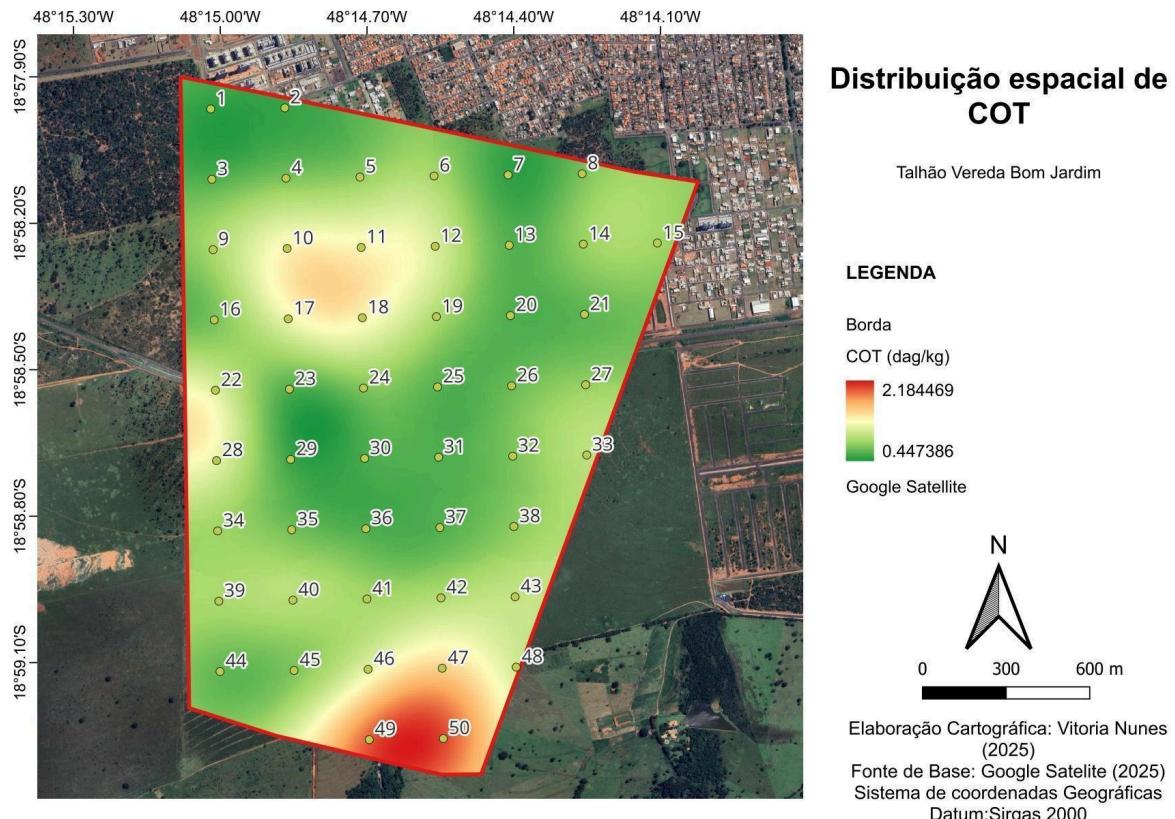


Figura 8. Mapa de distribuição espacial de Carbono Orgânico Total (COT) da área de estudo inserida na microbacia do Córrego Campo Alegre, Uberlândia, MG.

Destaque deve ser dado ao fato que, a pura observação da distribuição do COT e da imagem de satélite da área sugere que os maiores teores de carbono (com valores próximos de 2%) estão concentrados nas áreas aparentemente de menor degradação da vereda (Pontos 49 e 50). Essas regiões, representadas pelas tonalidades mais avermelhadas no mapa (Figura 8), indicariam assim, uma condição relativamente melhor em relação ao restante da área, mesmo que ainda muito distante do ideal. Entretanto, as observações de campo mostram que esta região recebe o aporte dos sedimentos erodidos do terço superior e médio da vereda (Figura 9).

Desta forma, o COT reflete a remoção e posterior deposição de materiais carreados pelas águas da chuva. Por outro lado, ao comparar estes pontos com outras áreas da bacia hidrográfica – onde há pouca ou nenhuma vegetação ciliar - observa-se que a cobertura

vegetal presente também pode estar desempenhando um papel crucial na retenção de sedimentos transportados. Isso inclui, inclusive, sedimentos provenientes dos antigos horizontes orgânicos que antes ocupavam o fundo do eixo central da vereda, hoje substituídos por um vale profundo escavado pela erosão.



Figura 9. Área de deposição de material erodido das partes mais altas e evidências de processo erosivo com presença de sedimentos no leito central da vereda, relativas aos pontos de coleta com maiores valores de COT. Fonte: Batista, A.H. (2023).

Em contrapartida, os menores valores de COT foram registrados em pontos específicos dentro da bacia hidrográfica, como os pontos 23 e 29, onde os solos atualmente estão destinados a um novo loteamento. Comparando estes pontos aos pontos 22 e 28 (atualmente com vegetação de cerrado nativo) percebe que a conversão para outros usos reduz consideravelmente os valores de carbono. É importante mencionar que em áreas de cerrado *stricto sensu* os baixos valores de COT são esperados, devido à menor acumulação de matéria orgânica típica dessa vegetação. Todavia, mesmo sob áreas típicas de cerrado e solos mais intemperizados, os valores de COT esperados seriam superiores a 1%.

Um destaque importante é a área localizada dentro do condomínio, onde os pontos 10, 11, 17 e 18 apresentam teores intermediários, em torno de 1,5%. Esses valores mais elevados, quando comparados a outras áreas degradadas da bacia, podem estar relacionados à aterro ou adubação e aporte de substratos com maior conteúdo de carbono, para permitir o cultivo de plantas ornamentais no interior do condomínio. Isso significa que os teores de carbono observados ali não refletem as condições do solo anteriores, mas sim uma alteração promovida pela ocupação urbana mais recente, o que pode mascarar a real qualidade ambiental da área em sua condição anterior à construção.

4.3 Associação entre Textura do Solo e COT

A análise da correlação entre as frações granulométricas do solo e o COT revelou padrões consistentes com resultados encontrados na literatura (Tabela 3).

Tabela 3 – Coeficientes de correlação de Pearson entre as frações granulométricas do solo (areia grossa, areia fina, silte e argila) e o teor de carbono orgânico total (COT) na microbacia do Córrego Campo Alegre, Uberlândia (MG).

Fração do solo	Correlação com o COT
Areia Grossa	-0,179
Areia Fina	-0,569
Silte	0,251
Argila	0,419

Nota. Correlações até 0,30 foram consideradas fracas, entre 0,30 e 0,60 moderadas e acima de 0,60 fortes.

Um exemplo recente é o trabalho de Zhao *et al.* (2024), que avaliou solos sob diferentes usos em pastagens e encontrou correlação positiva entre o COT e os teores de argila ($r \approx 0,67$) e silte ($r \approx 0,47$), além de correlação negativa com a areia ($r \approx -0,58$). Esses dados confirmam, o que já é bem relatado pela literatura, que solos com maior teor de argila e silte tendem a reter mais carbono, enquanto solos mais arenosos apresentam menor capacidade de estabilização da matéria orgânica.

No presente estudo, a fração areia fina apresentou a maior correlação negativa com o COT ($r = -0,569$). Essa fração possui baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, além de não favorecer a formação de agregados estáveis, o que aumenta a vulnerabilidade da matéria orgânica à decomposição e lixiviação. Tanto a areia fina quanto a grossa possuem

baixa área superficial específica e praticamente não apresentam cargas elétricas, comprometendo sua capacidade de adsorção de compostos orgânicos. A areia grossa também apresentou correlação negativa com o COT ($r = -0,179$), embora menos intensa, refletindo seu papel secundário na proteção do carbono. A predominância das frações arenosas é observada nas porções superiores da vereda (Figura 6), justamente nas áreas mais impactadas pela ocupação urbana.

O silte demonstrou correlação positiva fraca com o COT ($r = 0,251$). Embora sua interação não tenha sido tão eficaz quanto a argila, contribui para a retenção de água e oferece certa proteção à matéria orgânica. Já a argila apresentou a correlação positiva mais expressiva ($r = 0,419$) desempenhando papel fundamental na estabilização do carbono orgânico por sua elevada área superficial específica e cargas negativas, que favorecem a adsorção de colóides e íons. A distribuição espacial dessa fração, evidenciada na Figura 6, está associada às áreas que apresentam maior teor de carbono, especialmente nas porções inferiores, mais preservadas e distantes da cidade.

De modo geral, as maiores concentrações de carbono estão associadas às frações mais finas do solo (silte e argila). No entanto, não se observa uma relação direta entre a maior preservação da vegetação e teores elevados destas partículas, apesar de existirem indícios de cobertura vegetal mais densa. Esses padrões reforçam a influência da ação antrópica na degradação do solo, comprometendo sua capacidade de reter e preservar matéria orgânica.

4.4 Efeito da altitude na distribuição do COT

A figura 10 apresenta o mapa de declividade de parte da bacia do córrego Campo Alegre, destacando áreas com inclinação superior a 75% (em vermelho). Essas zonas de maior declividade coincidem espacialmente com regiões que apresentam os menores teores de COT.

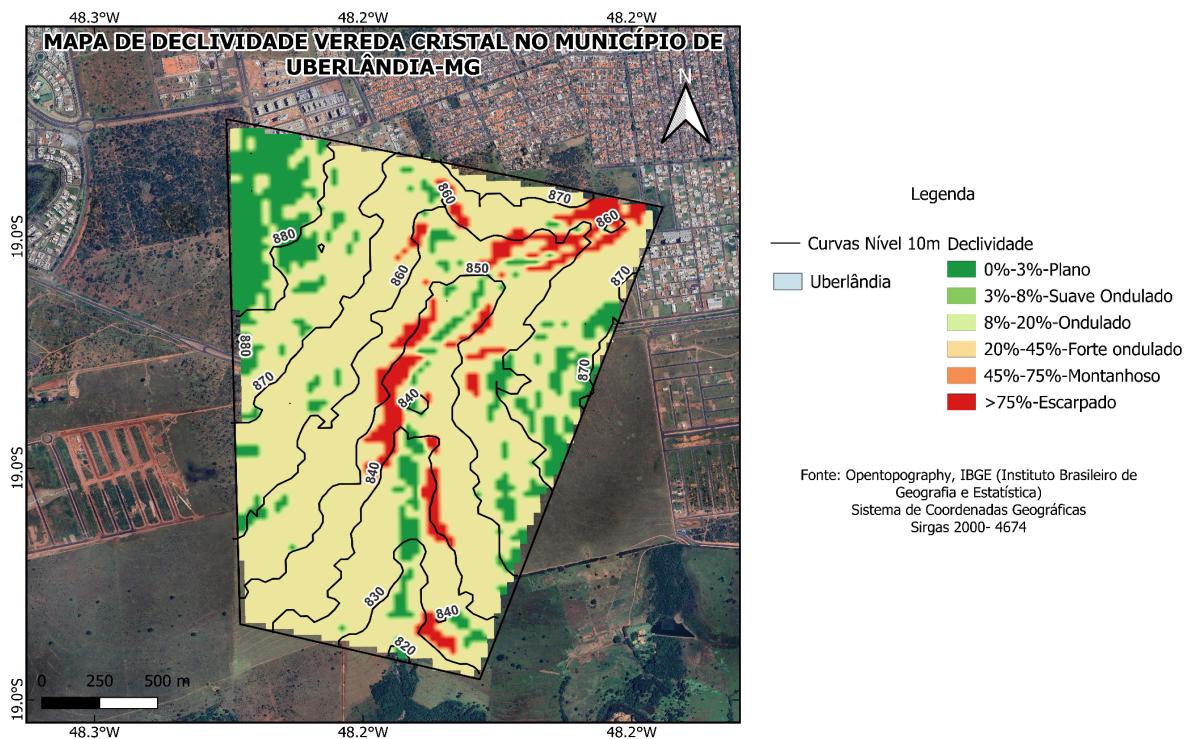


Figura 10. Mapa de declividade da área de estudo inserida na microbacia do córrego Campo Alegre, Uberlândia – MG. Mapa elaborado por Diogo Antonio da Silva (2025).

A análise integrada das figuras indica que, nas porções mais íngremes da bacia hidrográfica, ocorre uma expressiva redução dos teores de COT, sugerindo que a perda de carbono está relacionada à intensificação dos processos erosivos. À primeira vista, tais valores de declividade poderiam levar à interpretação equivocada de que o relevo local é escarpado. No entanto, trata-se de subecossistemas caracterizados por relevo plano a suave ondulado, com vertentes longas e de baixa energia (Costa *et al.*, 2023). O mapa evidencia, portanto, que a erosão em voçoroca alterou significativamente a geomorfologia da região, gerando prejuízos irreversíveis. Segundo Costa *et al.* (2023) a declividade média em áreas de veredas é de 1,71 %, variando entre 0,77% e 2,39%.

O mapa hipsométrico (Figura 11) complementa essa análise ao revelar uma diferença altimétrica de quase 50 metros entre os pontos mais elevados (~890 m) e os mais baixos (~840 m ou menos) da paisagem. Essa variação favorece o escoamento superficial e o transporte de sedimentos, promovendo a deposição de partículas finas e de matéria orgânica nas áreas de menor altitude. Como resultado, observam-se maiores concentrações de COT nos pontos 46, 47, 49 e 50.

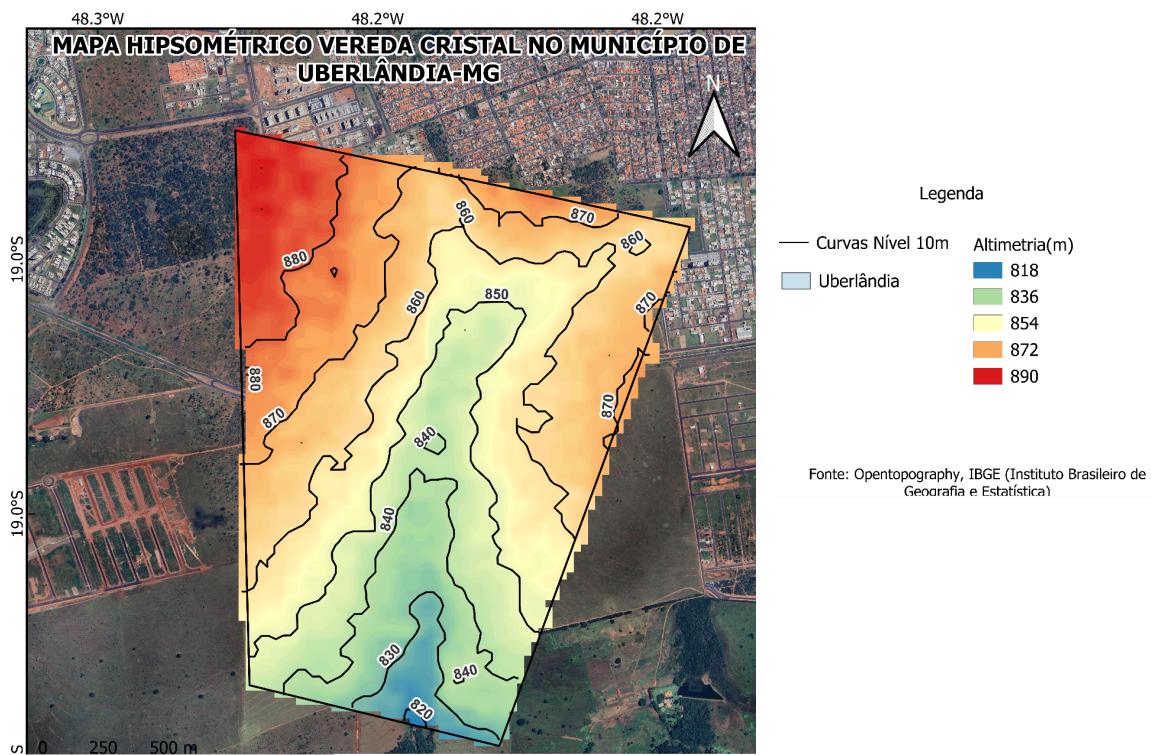


Figura 11. Mapa hipsométrico da área de estudo inserida na microbacia do córrego Campo Alegre, Uberlândia – MG. Mapa elaborado por Diogo Antonio da Silva (2025).

Esse padrão de redistribuição de carbono no perfil da paisagem é consistente com os achados de Silva *et al.* (2005), que demonstraram como a erosão hídrica atua de forma seletiva sobre os constituintes do solo. No estudo, conduzido em Cambissolo e Latossolo, verificou-se que o material erodido apresentava maiores concentrações de carbono orgânico em relação ao solo remanescente. Isso mostra que as partículas mais leves, ricas em matéria orgânica, são removidas preferencialmente, reduzindo os estoques de carbono nas áreas de origem e aumentando o acúmulo nas zonas de deposição. A perda de carbono em áreas sujeitas à erosão compromete a estabilidade estrutural do solo e favorece o surgimento de processos erosivos mais agressivos, como a formação de ravinas e erosões fúlvicas, ambos observadas em campo na área de estudo.

4.5 Caracterização do Perfil de Solo e Implicações Pedoambientais

O perfil de solo apresentou onze horizontes principais (sem considerar as subdivisões das lamelas) com colorações que variam entre tons de marrom, cinza, vermelho e amarelo, refletindo alterações pedogenéticas quanto ao acúmulo diferenciado de matéria orgânica ao

longo do tempo. Essas características também indicam sequências deposicionais distintas no local (figura 12; Tabela 4). De forma geral os horizontes revelaram ausência de estrutura, cerosidade e cimentação, evidenciando fragilidade física acentuada. A consistência variou entre “ligeiramente dura” e “extremamente dura” quando seca, e entre “muito friável” e “extremamente firme” quando úmida. Em condições molhadas, predominaram consistência plástica a ligeiramente plástica. A presença de cores glei nos horizontes mais profundos, especialmente no horizonte 11, aponta para condições de hidromorfismo, típicas de áreas de vereda com períodos prolongados de saturação hídrica.



Figura 12. Perfil de solo da área do córrego classificado como Neossolo Flúvico Psamítico. Perfil apresenta estratificação litodeposicional marcada, com variação de cores e consistência associada a pulsos de deposição fluvial. O horizonte hístico enterrado na base indica fase anterior de acúmulo de matéria orgânica em ambiente mal drenado. Ausência de horizonte B diagnóstico; textura predominantemente arenosa (psamítica).

O solo foi classificado como Neossolo Flúvico Psamítico, conforme os critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Essa classificação se justifica pela deposição aluvial recente, com baixa evolução pedogenética, ausência de horizonte B diagnóstico e predominância de textura arenosa nos horizontes superficiais. O caráter estratificado, a variação abruta de cores e consistência e a ausência de estrutura bem

desenvolvida reforçam a tipificação (SANTOS et al., 2018). É importante destacar que, em Neossolos Flúvicos, as lamelas observadas podem não corresponder a verdadeiras lamelas pedogenéticas (por iluviação), mas sim a camadas litodepositivas herdadas do processo de sedimentação. Por isso, a definição como estratificação é mais adequada que a classificação como horizonte lamelar.

Apesar do alto teor de carbono orgânico identificado no horizonte hístico (183,7 g/kg), esse horizonte encontra-se enterrado e fora da seção de controle para classe (100 cm) e não pode ser considerado representativo da camada superficial. Segundo os critérios do SiBCS a definição de Organossolo requer que os horizontes superficiais apresentem alto teor de COT atendam a critérios específicos de espessura e saturação hídrica. No presente caso, os horizontes superficiais possuem teores moderados de carbono (6,5 a 14,2 g/kg), inviabilizando os requisitos para horizonte hístico, mesmo diante da expressiva concentração de carbono nas camadas mais profundas.

Os valores de pH em água variaram entre 5,2 e 6,7, com maior acidez nos horizontes profundos (Tabela 5). O COT nos horizontes superficiais foi moderado (6,5 a 14,2 g/kg nos horizontes A a C4) e atingiu valor excepcionalmente alto no hístico enterrado (183,7 g/kg). A textura foi predominantemente arenoso nos horizontes superficiais, com aumento progressivo de silte e argila em profundidade, chegando a 277 g/kg de argila.

A argila dispersa em água atingiu até 66 g/kg no horizonte C3, com graus de dispersão superiores a 30 % em vários horizontes, indicando alto risco de estabilidade estrutural. Estudos como o de Silva (2017) demonstram que altos teores de argila prontamente dispersa em água (APDA) refletem fraca agregação, degradação estrutural e maior suscetibilidade à erosão. Neste perfil, a mobilização da argila dispersa pode explicar o empobrecimento das camadas superiores, com predomínio de areia.

O horizonte hístico apresentou densidade aparente de 0,65g/cm³, evidenciando alto teor de matéria orgânica, grande capacidade de retenção de água, elevada porosidade e baixa compactação física (Tabela 5, Figura 12). Esses atributos confirmam seu papel como reservatório natural de carbono e suporte à biota, criando um ambiente físico-químico mais estável. Contudo, conforme Panagos *et al.* (2024) , horizontes ricos em matéria orgânica apresentam maior vulnerabilidade à oxidação, caso sejam expostos por rebaixamento do lençol freático ou revolvimento do solo, liberando CO₂ para a atmosfera e intensificando o efeito estufa.

Tabela 4 – Descrição morfológica dos horizontes do perfil de solo.

Horizontes	Cor seca	Cor úmida	Estrutura	Cerosidade	Consistência seca	Consistência úmida	Consistência Molhada	Pegajosidade	Cimentação
A (0 -10 cm)	10yr- 3/4	10yr- 3/3	ausente	ausente	Ligeiramente dura	Muito friável	Ligeiramente plástica	Ligeiramente pegajosa	ausente
C1 (10 – 16 cm)	7,5yr- 4/6	7,5yr- 3/4	ausente	ausente	Ligeiramente dura	Muito friável	Ligeiramente plástica	Ligeiramente pegajosa	ausente
C2 (16 – 25 cm)	7,5yr- 6/4	7,5yr- 4/4	ausente	ausente	Macia	Muito friável	Ligeiramente plástica	Não pegajosa	ausente
C3 (25 – 35 cm)	10yr- 4/6	10yr- 3/6	ausente	ausente	Ligeiramente dura	Friável	Plástica	Pegajosa	ausente
C4 (35 – 38 cm)	10yr- 6/4	10yr- 3/6	ausente	ausente	Ligeiramente dura	Friável	Ligeiramente plástica	Não pegajosa	ausente
C5 (38 – 43 cm)	white page- 2,5y 8/1	white page- 10yr 8/9	ausente	ausente	Muito dura	Muito firme	Ligeiramente plástica	Ligeiramente pegajosa	presente
C6 (43 – 51 cm)	10yr- 7/4	10yr- 4/6	ausente	ausente	Macia	Muito friável	Não plástica	Não pegajosa	ausente
C7 (51 – 86 cm)	7,5yr- 5/4	7,5yr- 4/4	ausente	ausente	Macia	Muito friável	Ligeiramente plástica	Ligeiramente pegajosa	ausente
C8 (86 – 98 cm)	10yr- 3/4	10yr- 3/2	ausente	ausente	Macia	Muito friável	Ligeiramente plástica	Não pegajosa	ausente
C9 (98 – 130 cm)	7,5yr- 5/6	7,5yr- 4/3	ausente	ausente	Muito dura	Firme	Ligeiramente plástica	Não pegajosa	ausente
Horizonte Hístico	Gley 2- 3/10B	Gley 2- 2,5/10 G	ausente	ausente	Extremamente dura	Extremamente firme	Ligeiramente plástica	Ligeiramente pegajosa	ausente

Tabela 5 – Atributos físico-químicos dos horizontes do perfil de solo.

Horizontes	pH em água	COT	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Argila dispersa em água	Grau de Floculação	Grau de dispersão
g/ kg								%	
A (0 -10 cm)	6,5	14,15	202	568	63	167	39,2	70,3	29,7
C1 (10 – 16 cm)	6,5	6,6	202	605	61	131	41,6	68,24	31,76
C2 (16 – 25 cm)	6,7	0,94	361	506	25	108	45,2	58,15	41,85
C3 (25 – 35 cm)	6,6	5,66	36	498	122	343	62,4	81,82	18,18
C4 (35 – 38 cm)	6,4	7,55	159	582	62	197	64	67,55	32,45
C5 (38 – 43 cm)	6,2	0	213	334	182	271	24	91,14	8,86
C6 (43 – 51 cm)	6,5	3,77	229	655	13	104	27,08	73,96	26,04
C7 (51 – 86 cm)	6,6	5,66	100	659	88	153	42,4	72,29	27,71
C8 (86 – 98 cm)	6,1	11,32	168	546	25	261	31,6	87,87	12,13
C9 (98 – 130 cm)	5,9	13,21	6	168	156	671	42,4	93,68	6,32
Horizonte Hístico	4	183,72	549	193	130	129	42,8	66,72	33,28

4.6 Fatores Condicionantes da Distribuição do COT

A variação espacial do carbono orgânico total (COT) na vereda estudada reflete a interação complexa entre a textura do solo, o relevo e os impactos antrópicos presentes na área. As análises mostraram dois processos: i. solos com maior teor de argila e silte, como os observados nas porções inferiores da vereda, apresentam maior capacidade de retenção de matéria orgânica; ii. Partículas mais finas são transportadas a distâncias maiores, e a concentração destas duas frações nas partes de menor altitude, refletem o transporte de sedimentos por erosão.

Isto explica os maiores teores de COT nesses locais e alerta para a perda de matéria orgânica em um processo irreversível de recuperação. Já as frações arenosas, predominantes nas áreas superiores e mais inclinadas, apresentam baixa capacidade de retenção hídrica e química, facilitando a decomposição e lixiviação da matéria orgânica, o que se traduz em menores valores de COT. Além disso, a predominância da areia fina, com baixa área superficial específica e quase ausência de cargas elétricas, contribui para a instabilidade da matéria orgânica nessas regiões (Figura 13).



Figura 13. Solo arenoso com baixos teores de COT.

O relevo desempenha papel fundamental na redistribuição do carbono no perfil da paisagem, pois as áreas com maiores declividades apresentam processos erosivos mais intensos que removem partículas leves e ricas em carbono, enquanto as áreas mais baixas acumulam sedimentos e matéria orgânica, formando depósitos mais ricos em carbono. A classificação do solo como Neossolo Flúvico Psamítico, com baixa evolução pedogenética e textura predominantemente arenosa, reforça essa dinâmica, evidenciando uma estrutura física frágil e alta suscetibilidade à degradação. As condições hidromórficas, associadas à elevada argila dispersa, agravam essa vulnerabilidade, enquanto a interferência humana, principalmente a remoção da vegetação ciliar e a drenagem artificial, intensifica a perda de carbono e solo, mantendo a área em um estado avançado de degradação ambiental (Figura 14).



Figura 14. Demonstração da degradação ambiental da área.

Considerando que horizontes subsuperficiais, como o horizonte hístico do perfil analisado, apresentaram teores muito elevados de carbono, é essencial que futuras investigações incluam também a faixa de 20 a 40 cm para uma avaliação mais completa dos estoques de carbono no solo. Por fim, a ausência de dados históricos sobre o uso do solo limitou a análise da relação entre práticas de manejo e os níveis atuais de COT. A incorporação de informações sobre o histórico de uso e cobertura da terra poderá esclarecer

melhor os impactos das ações antrópicas sobre a dinâmica do carbono e contribuir para propostas mais eficazes de recuperação ambiental.

O uso do solo nas áreas adjacentes à vereda tem exercido forte influência negativa sobre os estoques de carbono, refletindo-se na degradação observada ao longo do estudo. A criação do condomínio residencial dentro da microbacia, conforme mencionado anteriormente, alterou significativamente as condições naturais do solo, especialmente pela intervenção direta na camada superficial. Além disso, nas áreas ao redor da vereda, o uso extensivo para pastagens degradadas e manejo inadequado, tem intensificado a compactação do solo e a perda da cobertura vegetal, acelerando os processos erosivos e a lixiviação do carbono orgânico. Esses impactos são agravados pelo descuido e pela insuficiente fiscalização dos órgãos ambientais competentes, o que facilita a continuidade de práticas prejudiciais.

Um aspecto crucial desse contexto é a anistia concedida pela Lei nº 12.651/2012 (Código Florestal), sancionada em 2013, que dispensou a obrigatoriedade de recuperação das áreas degradadas antes de 22 de julho de 2008, incluindo várias veredas já impactadas. Essa medida legal, embora buscassem equilibrar interesses sociais e ambientais, resultou na permanência da degradação em muitos casos, como o presente estudo evidencia, ao isentar produtores rurais da restauração ambiental. A falta de recuperação efetiva das áreas de preservação permanente contribui diretamente para a redução dos estoques de carbono no solo e a perda da funcionalidade ecológica das veredas, reforçando a necessidade de políticas públicas mais rigorosas e de ações integradas para a conservação e recuperação desses ecossistemas tão sensíveis.

5. CONCLUSÕES

O estudo evidenciou baixos teores de carbono orgânico total (COT) na bacia hidrográfica analisada, refletindo um estado avançado de degradação ambiental, associado à homogeneidade dos valores superficiais e à influência da ocupação antrópica.

A variação espacial do COT foi significativamente influenciada pela textura do solo, com correlação positiva para argila e silte e negativa para frações arenosas, além de estar condicionada ao relevo, onde áreas de maior declividade apresentaram menores teores devido à erosão hídrica.

A classificação do solo como Neossolo Flúvico Psamítico, com características físicas frágeis e alta dispersão de argila, reforça a vulnerabilidade da área à degradação.

Por fim, o uso do solo nas áreas adjacentes, marcado pela implantação do condomínio, pastagens degradadas e pela ausência de fiscalização efetiva, somado à anistia legal prevista na Lei nº 12.651/2012 para áreas degradadas antes de 2008, contribuiu para a manutenção dos baixos estoques de carbono e comprometimento da funcionalidade ecológica da vereda, apontando para a urgência de políticas públicas e ações de recuperação ambiental integradas.

6. REFERÊNCIAS

- ÁVILA, Marly A. de *et al.* Diversity and structure of natural regeneration in swamp forests in southeastern Brazil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 28, e20190110, 2021.
- BARBOSA, Glauber Stefan. **Uso de atributos do solo na identificação de limites para preservação de Veredas no Mato Grosso do Sul**. 2016. 72 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Unesp, Ilha Solteira, 2016.
- BRASIL. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996, entre outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 maio 2012.
- BRASIL. **Lei nº 20.922**, de 16 de outubro de 2013. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Belo Horizonte, MG: Assembleia Legislativa de Minas Gerais, 2013.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo, SP: Blucher, 2013.
- COSTA, Liovando Marciano da. *et al.* **Intensidade de uso de ocupação dos solos das bacias hidrográficas dos rios Araguari e Paranaíba**. Rio de Janeiro: Pod Editora, 2023. p. 37-83.
- EMBRAPA. **Benefícios da matéria orgânica dos solos em sistemas integrados**. Dourados, MS: Embrapa, 5 dez. 2023. Disponível em: site Embrapa. Acesso em: jun. 2025.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.
- EMBRAPA FLORESTAS. **Processos erosivos e suas relações com as práticas de manejo e água no Sul do Brasil**. 2024.

- CUNHA, Ely Cintra. **Caracterização dos fatores naturais da paisagem da microbacia do córrego Marimbondo no município de Uberlândia-MG**. 2011. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.
- FERREIRA, R. L. C. *et al.* Dinâmica do carbono em solos: implicações para mitigação das mudanças climáticas. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 14, n. 1, p. 47–67, 2021.
- INSTITUTO DE BIOCIENCIAS – USP. **Desmatamento, expansão agrícola, crescimento urbano e mineração afetam a qualidade da água nos rios brasileiros**. São Paulo, 25 jun. 2020.
- LAL, Rattan. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Washington, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 11 jun. 2004.
- LIMA, A. F. L. *et al.* Influência do relevo na distribuição espacial da textura e fertilidade do solo em uma área de Terra Preta Arqueológica em Novo Aripuanã, AM. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, n. 3, p. 1548–1567, 2022.
- LIMA, R. P. *et al.* Métodos de avaliação da dispersão da argila em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 41, e0160407, 2017.
- MACHADO, Henrique Amorim. **Comportamento do carbono orgânico em área úmida do Cerrado (Vereda do Córrego Beija-Flor, Uberlândia/MG)**. 2014. 91 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.
- MENDONÇA, Eduardo de Sá; MATTIAZZO, Maria E.; VIDAL-TORRADO, Pablo. Matéria orgânica de solos: o que é e por que é importante. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. v. 6, p. 55-122.
- NOVOTNY, E. H.; CANELLAS, L. P.; COLNAGO, L. A. **Caracterização da matéria orgânica do solo**. Seropédica, RJ: Embrapa Solos, 2022.

PILLON, Clenio Nailto; MIELNICZUK, João; MARTIN NETO, Ladislau. **Dinâmica da matéria orgânica no ambiente**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2004. 47 p. (Documentos, 105).

PANAGOS, Panos *et al.* **Soil bulk density assessment in Europe**. Agriculture, Ecosystems & Environment, [S.L.], v. 364, p. 108907-108931, abr. 2024. Elsevier BV.

RAIJ, B. van *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

REEVES, D. W. The role of soil organic matter in maintaining quality in continuous cropping systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 43, n. 1-2, p. 131-167, nov. 1997.

RESENDE, Thalita Mendes. **Conversão de uso e potencial de estoque do carbono nos diferentes usos do solo e cobertura vegetal na bacia do Ribeirão Bom Jardim no Triângulo Mineiro (MG)**. 2011. 141 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

RODRIGUES, Maria Inês et al. Degradação de veredas e os impactos socioambientais: estudo de caso no Município de Uberlândia (MG). **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 10, n. 4, p. 1198-1215, 2017.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SCHIAVINATO, V. M. S.; GONZÁLEZ, A. Z. D. Degradação de áreas de nascentes na sub-bacia hidrográfica do córrego das Pitas-MT: o que pensam os pequenos produtores rurais? **Caminhos de Geografia – UFU**, Uberlândia, v. 21, n. 74, p. 295–312, abr. 2020.

SANTOS, Gilsonley Lopes dos *et al.* Soil properties changing and carbon losses by anthropic drainage in savanna palm swamp (vereda), central Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 47, n. 1, p. 1-19, 2023. Revista Brasileira de Ciencia do Solo.

SILVA, A. M. da; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M. de; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. **Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1223–1230, dez. 2005.

SILVA, Isabela Mello da. **Preditores da argila prontamente dispersa em água em solos tropicais via turbidimetria e VisNIR-SWIR-MidIR.** 2017. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), USP, Piracicaba.

SILVA, M. A. **Comportamento do carbono orgânico em área úmida do Triângulo Mineiro.** 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

SOUSA, Ricardo F. de *et al.* Matéria orgânica e textura do solo em veredas conservadas e antropizadas no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 861-866, ago. 2011.

SOUZA, Ianna Santana *et al.* Soil organic carbon stock in a peat-wetland ecosystem in the Cerrado biome under different land covers and its role in water storage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 49, e0240137, 1 abr. 2025.

YARDAM, E. *et al.* **Rehabitation of degraded dryland ecosystem: review.** Silva Fennica, Helsinki, v. 51, n. 1B, p. 1-32, 2017.

ZHAO, Minshuang; ZHANG, Zhidan; LI, Meijia; GAO, Chunyang; ZHANG, Jinjing; HE, Nianpeng. **Soil mineral-associated organic carbon and its relationship to clay minerals across grassland transects in China.** *Applied Sciences*, Basel, v. 14, n. 5, p. 2061, 2024.