

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

LAURA CAROLINE ALVES CARDOSO

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE
CONTAMINANTES EM SOLOS HIDROMÓRFICOS EM UBERLÂNDIA, MG**

Uberlândia - MG

2024

LAURA CAROLINE ALVES CARDOSO

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE
CONTAMINANTES EM SOLOS HIDROMÓRFICOS EM UBERLÂNDIA, MG**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia,
da Universidade Federal de
Uberlândia, para obtenção do grau de
Engenheira Agrônoma.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Araújo
Hulmann Batista

Uberlândia - MG

2024

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

C268 2024	Cardoso, Laura Caroline Alves, 2002- DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE CONTAMINANTES EM SOLOS HIDROMÓRFICOS EM UBERLÂNDIA, MG [recurso eletrônico] / Laura Caroline Alves Cardoso. - 2024. Orientadora: Araújo Hulmann Batista. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Agronomia. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia. Inclui ilustrações. 1. Agronomia. I. , Araújo Hulmann Batista, 1977-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Agronomia. III. Título. CDU: 631
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

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

LAURA CAROLINE ALVES CARDOSO

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE
CONTAMINANTES EM SOLOS HIDROMÓRFICOS EM UBERLÂNDIA, MG**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia,
da Universidade Federal de
Uberlândia, para obtenção do grau de
Engenheira Agrônoma.

Uberlândia, 21 de novembro de 2024.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Araújo Hulmann Batista
Orientadora

Dra. Hérica Leonel de Paula Ramos Oliveira
Membro da Banca

Profa. Dra. Tatiane Pereira Santos Assis
Membro da banca

DEDICATÓRIA

Com todo o amor e gratidão, dedico esta conquista aos meus pais, Elisabeth e Waudigailen, que sempre foram meus maiores exemplos. Tenho imenso orgulho de ser filha de vocês, de carregar comigo os ensinamentos e os valores que moldaram quem eu sou e que me guiarão por toda a vida. Este trabalho é uma pequena demonstração de minha gratidão e de tudo o que sou graças a vocês.

Às minhas queridas e fiéis companheiras, Jade e Pandora, que durante tantos anos estiveram ao meu lado, sempre presente nos momentos de estudo, reflexão e ansiedade. Suas patinhas deixaram marcas permanentes em minha jornada. Mesmo ausentes fisicamente, a presença amorosa continua me inspirando a alcançar meus objetivos. Este trabalho é dedicado a vocês, minhas eternas amigas de quatro patas, que sempre serão lembradas com carinho e gratidão. Obrigada por terem feito parte da minha vida. Amo vocês minhas estrelinhas. (*In memoriam*)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder força, sabedoria e inspiração ao longo desta jornada de conclusão de curso. Sua orientação divina foi o alicerce que sustentou cada passo, cada desafio e cada conquista alcançada neste trabalho.

Aos meus queridos pais Elisabeth e Waudigailen, e à minha amada irmã Lara: É difícil expressar em palavras o quão profundamente grata eu sou por todo o apoio, amor e sacrifício que vocês dedicaram a mim ao longo desta jornada. Mãe e Pai, suas palavras de sabedoria, seu exemplo inspirador de dedicação e seu constante incentivo foram os pilares que me sustentaram nos momentos de incerteza e desafio. Seja acordando cedo para preparar o café da manhã antes de um dia de estudos intenso ou simplesmente oferecendo um abraço reconfortante nos momentos de estresse, vocês sempre estiveram lá, incansáveis em seu amor e apoio incondicional. A jornada até aqui foi construída com o alicerce firme do amor incondicional de vocês, que nunca mediram esforços para me oferecer o melhor, mesmo diante das dificuldades. E a você, minha querida irmã, obrigada por ser não apenas minha companheira de jornada, mas também minha fonte de alegria, inspiração e apoio. Suas palavras de ânimo, seu sorriso contagiante e seu amor inabalável foram uma luz constante nos dias mais sombrios.

Aos meus amados avós, Maria e Sideny, minha eterna gratidão. O amor, o carinho e o apoio de vocês me deram forças para chegar até aqui. Cada passo que dei teve a presença de vocês em pensamento e coração. Obrigada por sempre acreditarem em mim.

A minha madrinha Lezi, sua presença ao longo desta jornada foi um verdadeiro porto seguro para mim. Seu apoio incondicional e seu amor maternal foram essenciais para que eu alcançasse esta conquista. Sou abençoada por tê-la como minha madrinha.

As minhas companheiras de quatro patas Jade, Nina, Pandora, Amiga e Bebel, obrigada por todo amor e apoio emocional.

Aos meus amigos, compartilhar este caminho com vocês foi um privilégio. Agradeço por todo o apoio, pela compreensão e pelas inúmeras vezes em que me ajudaram a manter o foco e a determinação. Obrigada por estarem sempre ao meu lado.

A minha orientadora Araína, não tenho palavras para agradecer por todo o seu apoio e orientação durante este tempo. Suas palavras e conselhos foram a luz que me guiou em cada passo desta jornada. Você não só acreditou em mim, mas também me inspirou a alcançar além do que eu imaginava ser possível. Você não apenas me guiou academicamente, mas também me inspirou com seu exemplo de dedicação e paixão pelo conhecimento, pelos solos e pelas veredas. Obrigada por me dar a oportunidade de aprender com você e por todos os momentos enriquecedores que compartilhamos. Que sua generosidade e sabedoria continuem inspirando outros como inspiraram a mim.

RESUMO

As veredas, ecossistemas de transição do Cerrado, são de extrema importância ambiental, sendo fundamentais para a qualidade da água e do solo e habitat de espécies endêmicas. Este estudo analisou a distribuição de metais pesados (Cr, Pb, Cu, Cd, Zn, Mn, Fe e Ni) em solos de uma vereda em Uberlândia, MG, na microbacia do Córrego Campo Alegre. Utilizou-se uma grade amostral de 50 pontos georreferenciados e as amostras foram coletadas a 0-0,20 m de profundidade. A análise textural foi feita pelo método da pipeta e a determinação dos elementos foi realizada por digestão ácida e espectrometria de absorção atômica. Os resultados revelaram que, em maiores altitudes (888 m a 862 m), o solo apresentou maior teor de areia, enquanto em menores altitudes (858 m a 838 m) houve incremento de silte, indicando erosão e transporte de sedimentos. Todos os elementos estudados apresentaram valores acima dos Valores de Referência de Qualidade (VRQs), de acordo com o limite permitido pela COPAM, indicando que a urbanização é a principal fonte de contaminação. Os resultados evidenciam, ainda, o potencial que o processo erosivo possui de carrear não apenas sedimentos, mas os elementos-traços (ETs), ampliando a área de abrangência da contaminação.

Palavras-chaves: cerrado, veredas, contaminantes, valor de referência, qualidade do solo.

ABSTRACT

Wetland, transitional ecosystems of the Cerrado, are of extreme environmental importance, being fundamental for the quality of water and soil and habitat of endemic species. This study analyzed the distribution of heavy metals (Cr, Pb, Cu, Cd, Zn, Mn, Fe and Ni) in soils of a vereda in Uberlândia, MG, in the microbasin of the Campo Alegre Stream. A sampling grid of 50 georeferenced points was used and the samples were collected at 0-0.20 m depth. The textural analysis was performed by the pipette method and the determination of the elements was performed by acid digestion and atomic absorption spectrometry. The results revealed that, at higher altitudes (888 m to 862 m), the soil had a higher sand content, while at lower altitudes (858 m to 838 m) there was an increase in silt, indicating erosion and sediment transport. All elements studied presented values above the Quality Reference Values (VRQs), according to the limit permitted by COPAM, indicating that urbanization is the main source of contamination. The results also demonstrate the potential of the erosion process to carry not only sediments, but also trace elements (TEs), expanding the area covered by contamination.

Keywords: cerrado, wetland, contaminants, reference value, soil quality.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo Geral	12
2.2 Objetivo Específico	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1 Declividade e altitude	15
4.2 Distribuição espacial de areia, silte e argila.....	17
4.3 Distribuição espacial de Cd, Cr, Pb, Ni, Zn, Cu, Mn e Fe	24
5. CONCLUSÕES	34
6. REFERÊNCIAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

A intervenção antrópica nos ecossistemas naturais faz com que as funções ecológicas dos solos sejam alteradas, com interferências significativas nos atributos físicos, químicos e biológicos e degradação de suas propriedades (Yardam *et al.*, 2017). Com a expansão agrícola e a urbanização, ocorreram diversas mudanças nos solos do bioma Cerrado, atingindo os ecossistemas mais frágeis (Freitas & Maciente, 2016). Dessa forma, solos com maior fragilidade ambiental são alterados e suas características morfológicas, químicas e físicas transformadas. Por exemplo, as veredas, cuja vegetação nativa é modificada ou suprimida por outras atividades - como a agropecuária, cultivos agrícolas ou urbanização – nem sempre foram diretamente utilizadas para estes fins, porém, são afetadas pelo uso do solo que se tem no entorno.

O Cerrado conhecido como berço das águas, abriga áreas úmidas que contribuem com importantes bacias hidrográficas da América do Sul - Amazônia, Tocantins, Prata e São Francisco. Ele possui uma extensão territorial de 2 milhões de km², que corresponde a cerca de 25% do território nacional na região central do Brasil, sendo o segundo maior bioma brasileiro em termos de extensão (IBGE, 2018). Além disso, é o berço da maior diversidade no âmbito dos ambientes savânicos da Terra (Walter, 2006), entretanto, está entre os biomas brasileiros mais afetados pela antropização. A remoção da vegetação nativa para dar lugar à agricultura, pecuária e expansão urbana, é a principal causa de degradação destas áreas. Estima-se que cerca de 50% da cobertura vegetal do Cerrado tenha sido perdida.

Neste bioma são comumente encontradas áreas úmidas denominadas Veredas (do latim *veredus*) considerados ecossistemas tropicais úmidos, e por se encontrarem em regiões de cotas altimétricas mais baixas no relevo regional e terem assoalho de baixa permeabilidade, são locais onde se encontram as nascentes de água. As veredas estão localizadas em toda a extensão do Triângulo Mineiro, incluindo áreas urbanas densamente povoadas, zonas agrícolas e de pecuária, além de áreas industriais. Apesar de estarem em um bioma cujo clima é quente e seco durante o inverno, as veredas se mantêm saturadas por água durante todo o ano, ao contrário do restante da vegetação e solos. Os solos destes ecossistemas são considerados assim, hidromórficos, e possuem características

morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas muito distintas dos solos de regiões oxigenadas. A presença constante de água promove reações químicas específicas tornando-os hipoférricos ao mesmo tempo que são ricos em matéria orgânica. Além disso, sua fitofisionomia permanece verde o ano inteiro, e se destaca na paisagem especialmente pela presença de palmeiras arbóreas da espécie *Mauritia flexuosa*, conhecida popularmente como buriti (Ribeiro e Walter, 1998).

Como mencionado, a presença intermitente ou constante de água, forma solos muito importantes para a qualidade da água, abastecimento dos rios e a manutenção perene de seus cursos. O ambiente redutor pela baixa presença de oxigênio promove dois processos importantes de formação de solos: i. remoção dos óxidos de ferro, que dão cor vermelha/amarela aos solos levando à formação de horizontes acinzentados (glei) – Gleissolos; ii. acúmulo de carbono pela microbiota que promove decomposição anaeróbia do material orgânico, formando horizontes escuros e com carbono orgânico total acima de 80 g/kg – Organossolos. A gênese peculiar destes solos faz com que estes possuam colóides altamente reativos e com elevada capacidade de reter íons. Por este motivo, funcionam como filtros naturais, desempenhando um papel crucial na preservação da qualidade da água (Schaeffer *et al.*, 2021).

As veredas são áreas de extrema importância para o Cerrado e por serem ecossistemas de transição exercem fundamental papel ecológico. As águas que nascem nas Veredas são conduzidas em baixa velocidade e ao longo de todo o ano para as bacias hidrográficas, desempenhando importante função na regulação do ciclo da água, pois, elas absorvem e armazenam água durante as chuvas, minimizam a quantidade de água que chega aos rios de forma abrupta, reduzem a erosão e o risco de enchentes. Esse processo é fundamental para a recarga de aquíferos e manutenção da qualidade da água, ajudando a manter a sua disponibilidade nas épocas secas. As veredas também auxiliam no estoque de carbono e na regulação da emissão de gases (N_2O , CH_4 , H_2S) (Teixeira *et al.*, 2021)

As veredas abrigam uma rica diversidade de espécies vegetais e animais. Elas são essenciais para a conservação de espécies endêmicas, muitas ameaçadas, servindo como habitat e corredor ecológico, fornecendo abrigo, alimento, água para a diversificada fauna silvestre. Além disso, abrigam em torno de 526 espécies, 250 gêneros e 89 famílias da flora brasileira, que foram identificadas em veredas do Triângulo Mineiro por Guimarães *et al.* (2002). Ainda,

exercem um papel socioeconômico e paisagístico que configuram importância regional, importantes na subsistência de famílias tradicionais, onde a água é escassa e o buriti (*Mauritia flexuosa*) dá origem a óleos medicinais, fibras para produção de diversos produtos, doces, bebidas alcoólicas e como alimento e fonte de vitaminas (ISPN, 2008).

De acordo com o Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651/2012 as áreas de veredas são consideradas Áreas de Preservação Permanente (APP). Conforme definição descrita nessa lei, APP é uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Apesar disso, ainda ocorre modificações antrópicas por causa de áreas urbanizadas ou agrícolas em seu entorno. Além das alterações físicas nos solos das veredas e seu entorno, a contaminação por elementos potencialmente contaminantes é uma preocupação, uma vez que em contato com a água, alcançam facilmente toda a cadeia alimentar.

Podem ser considerados elementos potencialmente contaminantes os metais pesados, também chamados de elementos-traço. São caracterizados pela alta densidade, baixas concentrações e habilidade de se acumular, tanto no ambiente como nos organismos, levando a sérios problemas ambientais como a contaminação e poluição da água e do solo (Sajad *et al*, 2020). Entre os elementos-traços que são considerados de alta toxicidade, destacam-se o chumbo (Pb), cádmio (Cd), arsênio (As), bário (Ba), manganês (Mn), cobre (Cu), vanádio (V), mercúrio (Hg) e cromo (Cr). Esses elementos são disponibilizados no ambiente por minas, fundições de metais e indústrias, baterias, pigmentos, plásticos, fertilizantes fosfatados, calcário, gesso, defensivos agrícolas, águas residuais, tráfego industrial, emissões industriais, combustíveis e resíduos urbanos.

Os solos têm grande potencial de retenção de elementos-traço, porém, esses íons podem ser lixiviados para as camadas mais profundas, além de serem transportados nos sedimentos perdidos pela erosão, e que por isso podem alcançar outros compartimentos ambientais. Em alguns ambientes eles podem ser adsorvidos pelos colóides do solo ou precipitados (Basso & Kiang, 2017). Dessa forma, o acúmulo desses compostos causa a contaminação de águas subterrâneas pelas lixiviações de solutos, causando alterações muitas vezes irreversíveis na

qualidade dos solos e da água (Andrade *et al.*, 2018), que posteriormente, irão encontrar os cursos dos rios dentro das microbacias e bacias hidrográficas (Houlahan *et al.*, 2006; Freitas & Maciente, 2016).

Como são necessariamente formados e mantidos pela presença da água, os solos de veredas são bastante sensíveis às alterações ambientais, com pouca capacidade de regeneração e precisam ser protegidos do avanço das atividades humanas. Entretanto, ao contrário do que é evidenciado por imagens de satélites e observações *in loco*, estão sendo cada dia mais degradados e pressionados pelo avanço das cidades. A presença de teores muito elevados de elemento-traços é esperada em solos e águas de áreas antropizadas, especialmente quando se trata de áreas de nascentes, uma vez que se encontram em locais mais baixos, sendo assim, áreas de recepção das águas do entorno.

O acúmulo de contaminantes em solos hidromórficos é um risco potencial de contaminação de ecossistemas adjacentes. Desta forma, é preciso caracterizar a qualidade dos solos presentes nas áreas de Veredas determinando a concentração e disponibilidade de elementos-traços presentes. Uma vez determinada a presença destes elementos, é fundamental identificar a sua origem como forma de conter o avanço da contaminação, mitigando os efeitos e restaurando sua qualidade e funções ecológicas.

1. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Considerando a importância em conhecer a qualidade dos solos das áreas úmidas, o objetivo proposto com esta pesquisa foi investigar a distribuição espacial de Cr, Pb, Cu, Zn, Mn, Fe e Ni em solos da microbacia do córrego Campo Alegre no município de Uberlândia, MG.

2.2 Objetivos Específicos

O estudo da distribuição espacial na microbacia hidrográfica do Córrego Campo Alegre teve como objetivos específicos:

- I. Analisar as concentrações pseudototais dos elementos-traço Cr, Pb, Cu, Zn, Mn, Fe e Ni nos solos;

- II. Caracterizar por sistemas de informação geográfica a declividade e altitude de uma área inserida na microbacia da microbacia do córrego Campo Alegre;
- III. Analisar a distribuição espacial das frações granulométricas - areia, silte e argila;
- IV. Correlacionar a distribuição espacial dos elementos-traço com a distribuição espacial das frações granulométricas;
- V. Por meio de geoprocessamento, compreender a distribuição espacial dos atributos mencionados e sua relação com a urbanização, localização das estradas, atividades agropecuárias e Cerrado nativo;
- VI. Correlacionar os mapas de declividade, altitude e distribuição espacial das frações granulométricas, com a suscetibilidade a erosão presente na área.

3. MATERIAL E METÓDOS

O presente trabalho foi realizado em uma vereda localizada em área urbana do município de Uberlândia, no estado de Minas Gerais. A área faz parte da microbacia hidrográfica do córrego Campo Alegre, localizada no bairro Laranjeiras (Figura 1A e B; Figura 2).

Os pontos de coleta foram georreferenciados por meio de imagens de satélite Google Earth e pelo *software* QGIS (Figura 1B). Foram georreferenciados 50 pontos na grade amostral, em cada ponto foram coletadas 4 amostras simples de solos para formar uma amostra composta, na profundidade de 0 – 20 cm, a uma distância de 50 metros entre si. A área possui 354 hectares, e cada ponto representa um quadrante de 7 hectares.

As amostras de solos foram colocadas em sacos plásticos identificados e levados ao Laboratório de Pedologia da Universidade Federal de Uberlândia - Campus Umuarama. Foram então secas ao ar e passadas em peneira de malha 2 mm, para obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

Para a análise textural a matéria orgânica foi removida por oxidação com peróxido de hidrogênio 30 v/v, para então realizar a separação e determinação das frações areia, silte e argila pelo método da pipeta (Gee & Bauder, 1986).

Da TFSA foram extraídos os teores pseudototais de Cr, Pb, Cu, Cd, Zn, Mn, Fe e Ni por meio de digestão ácida com água régia (HCl e HNO₃ na proporção de 3:1 – US EPA, 1999). A determinação dos elementos foi realizada em equipamento de absorção atômica, com lâmpadas específicas aos elementos avaliados. Com base na normalidade dos dados os valores obtidos foram submetidos à análise geoestatística por meio da correlação espacial e variogramas, com os dados interpolados por krigagem. O intuito foi identificar possíveis padrões ou tendências espaciais e relacioná-los com os atributos e o uso dos solos no entorno.

Os valores obtidos foram plotados em mapas e correlacionados aos atributos altitude e textura por meio do *software* QGIS, avaliando a distribuição espacial dos elementos-traço e para verificar se há contaminação do solo, através dos Valores de Referência de Qualidade (VRQs) dos solos de Minas Gerais, atendendo a normativa nº 166 2011 do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM).

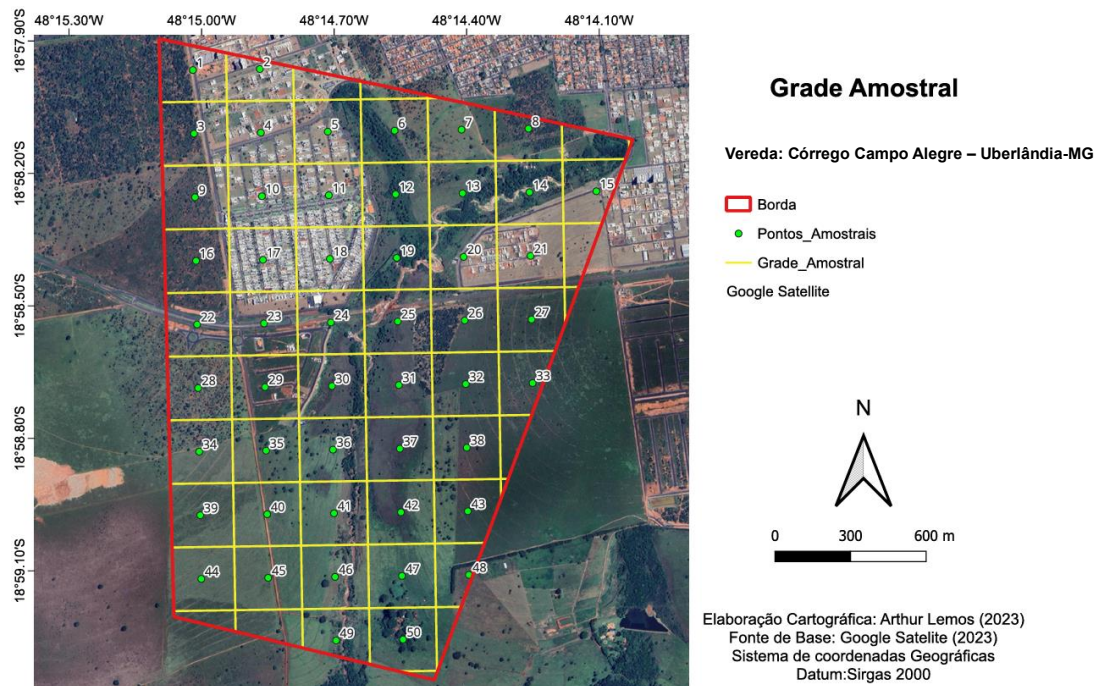


FONTE DE DADOS: IBGE (2021)
Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM
DATUM: Sirgas 2000, Fuso 22 Sul

Elaboração: Araina Hulmann Batista
Data: Setembro de 2024



A



B

Figura 1. Localização da área do estudo e pontos de coleta georreferenciados por meio de imagens de satélite Google Earth e pelo *software* QGIS – Grade Amostral.



Figura 2. Imagens aéreas do Córrego Campo Alegre, obtidas por drone no ano de 2024. Fonte: Arthur Lemos, 2024.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Declividade e altitude

A declividade e a altitude da área estão apresentadas na figura 3. Nota-se que a parte central é o local de menor altitude, e de acordo com a declividade, é lugar para onde a água é conduzida após as chuvas, deslocando-se dos pontos mais altos para os mais baixos. A parte inferior das imagens, destacada em vermelho no mapa de altitude, corresponde a região mais baixa do córrego, já

próxima ao rio Uberabinha, representa a foz desta nascente. Nas áreas mais altas, localizam-se as construções civis, enquanto, na lateral superior esquerda, ainda existe uma área de Cerrado nativo preservado.

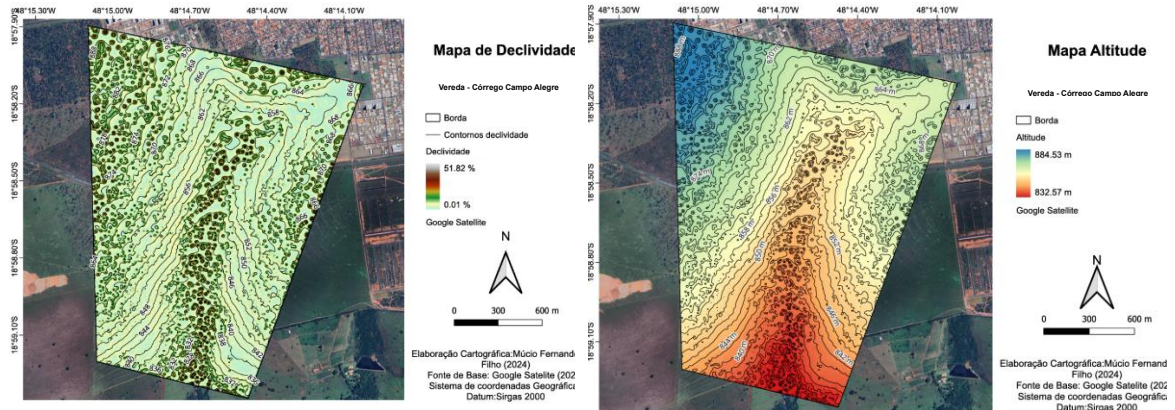


Figura 3. Mapas de declividade e altitude da área de estudo inserida na microbacia do Córrego Campo Alegre, Uberlândia, MG.

Vale destacar nas imagens apresentadas na figura 2, que o córrego foi aprofundado por um processo erosivo de elevada intensidade, podendo já ser caracterizado como erosão em voçoroca (Machado *et al.*, 2010). Esta alteração física promove o aumento da velocidade da água, o carreamento de poluentes e o avanço do processo erosivo a cada estação úmida (solos sem estabilidade ao redor da erosão). Os desdobramentos dos danos são bastante preocupantes, e é possível elencar algumas hipóteses a partir dessas observações: i. condução de poluentes às águas do rio Uberabinha, que desaguam no rio Paranaíba; ii. possibilidade de grandes volumes de enxurradas durante chuvas mais intensas, representando perigo às populações ao redor; iii. risco de comprometimento rodovia que corta o córrego perpendicularmente à direção do fluxo da água.

Essa erosão teve seus primeiros registros no final da década de 80 e diversos estudos foram realizados na área a fim de conter o seu avanço (Giffoni, 2010). Entretanto, a urbanização e a impermeabilização do solo ano após ano, especialmente entre os anos de 2020 até 2024 (Figura 4), reduziram ainda mais a capacidade de infiltração das águas das chuvas nos solos do entorno. Esses solos, classificados como Latossolos, são mais profundos, possuem grande capacidade de armazenamento de água devido à profundidade do horizonte B e sua estrutura física e textura mais argilosa, assim, todo o ambiente comunica-se entre si.

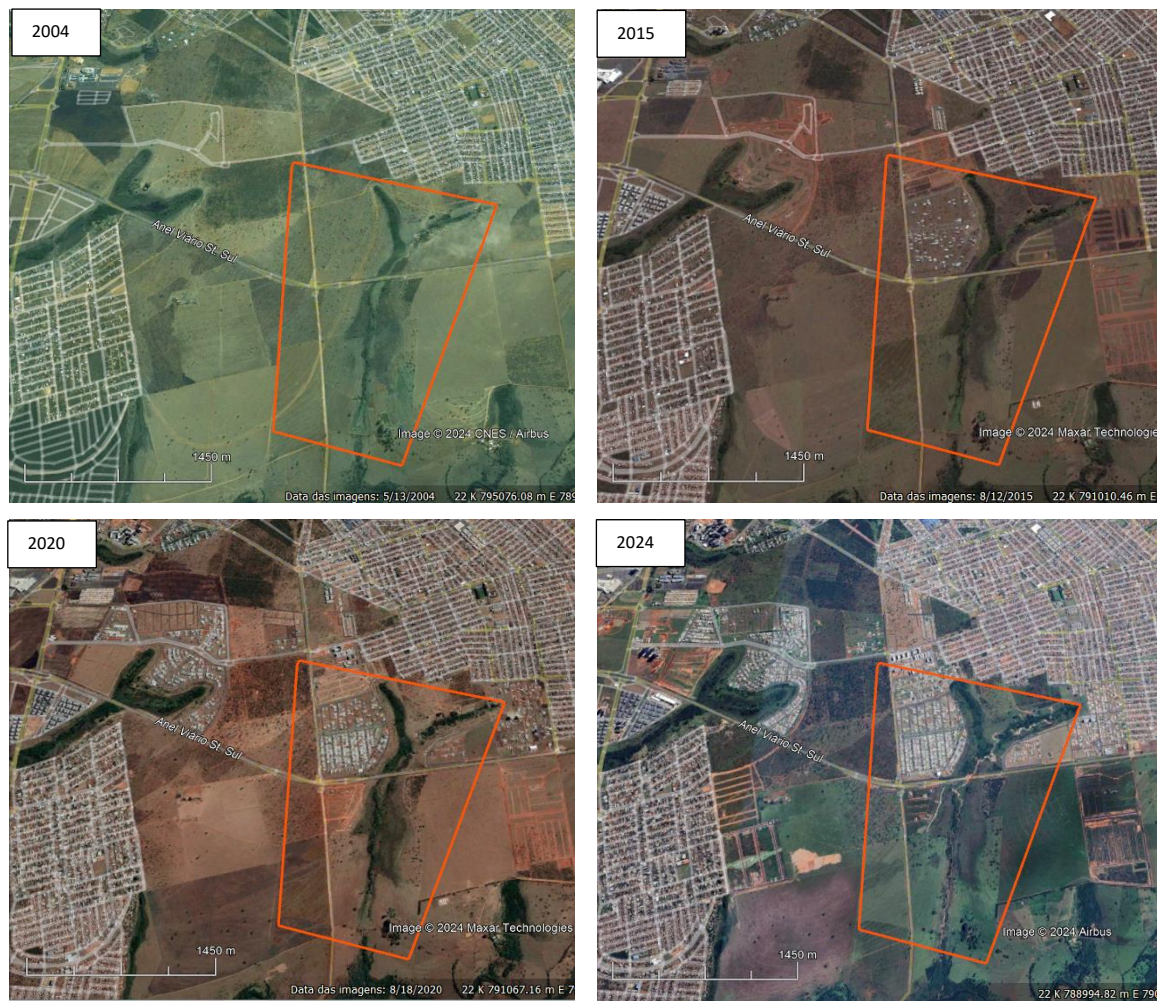


Figura 4. Imagens de satélite da área de estudo do córrego Campo Alegre dos anos de 2004, 2015, 2020 e 2024. Fonte: Google Earth Pro.

4.2 Distribuição espacial de areia, silte e argila

A textura do solo exerce uma significativa influência no comportamento físico-hídrico e químico, tornando essencial a sua avaliação para o adequado uso e manejo dos solos. No Brasil a classificação de tamanho de partículas utilizada segue o padrão disposto a seguir (Embrapa, 1979): argila ($< 0,002$ mm), silte (0,002 - 0,05 mm), areia fina (0,05 - 0,2 mm) e areia grossa (0,2 - 2 mm). As frações mais grosseiras do que a fração areia são: cascalho (2 - 20 mm), calhau (20 - 200 mm) e matacão (> 200 mm).

A mobilidade dos elementos-traço sofre interferência dos atributos dos solos, como o teor de matéria orgânica, teor e tipo de argila, pH, capacidade de troca de cátions e ânions (CTC e CTA). Sendo assim, a granulometria do solo

influencia as reações de sorção, precipitação/dissolução, complexação e oxirredução (Alloway *et al.*, 2013).

As frações granulométricas do solo têm uma relação significativa com a retenção de elementos-traço devido às suas propriedades físicas e químicas distintas. Partículas menores, como argila e silte, têm uma área superficial maior em comparação com areia. Isso proporciona mais locais de adsorção para íons, aumentando a capacidade de retenção desses elementos. A argila é conhecida por sua reatividade, ou seja, superfície carregada eletricamente com cargas positivas e negativas, possuindo muitos sítios de troca de íons em suas superfícies. Isso significa que a argila pode adsorver e reter uma quantidade significativa de íons, entre eles os elementos-traço, reduzindo sua mobilidade.

As diferentes frações granulométricas afetam a porosidade e a estrutura do solo, influenciando a distribuição e a movimentação de água. Isso, por sua vez, pode afetar a mobilidade e a retenção de contaminantes. Partículas mais finas, como argila e silte, podem diminuir o transporte de metais, seja por adsorção ou por interações físicas durante o movimento da água. Ressalta-se, entretanto, que especialmente a água que escoar sobre a superfície, o que é muito expressivo em áreas onde a infiltração fica impedida pela impermeabilização do solo, pode transportar sedimentos do tamanho silte e areia que estejam associados a elementos-traço com potencial de contaminação.

Na tabela 1 estão apresentados os valores das frações areia grossa, areia fina, silte e argila (g/kg) em todos os pontos coletados na grade amostral. É importante considerar esta distribuição, também apresentadas nas figuras 5, 6, 7 e 8, e sua relação com a altitude, declividade e distribuição dos elementos-traço.

Tabela 1: Valores de areia grossa, areia fina, silte e argila (g/kg) obtidos nos solos de cada ponto amostral.

Pontos (0-20cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
1	251,94	420,78	127,18	200,10
3	230,65	412,52	96,42	260,42
4	278,11	283,02	148,09	290,78
5	333,35	357,13	70,32	239,20
6	298,51	318,26	79,96	303,26
6B	399,50	184,27	101,74	314,50
7	328,54	479,54	146,58	45,34
8	342,27	315,88	68,12	273,73
9	294,51	517,67	-	313,25

10	186,72	183,66	55,12	574,50
11	206,96	269,85	72,66	450,53
12	250,04	223,82	131,78	394,37
13	320,33	494,72	70,14	114,82
14	424,44	288,30	102,14	185,12
15	290,46	400,74	68,35	240,45
16	278,41	416,37	182,08	123,14
17	287,41	298,10	57,15	357,34
18	254,73	364,68	-	525,82
19	381,77	117,49	78,91	421,82
20	220,90	194,24	189,66	395,20
21	304,98	425,46	67,38	202,18
22	253,83	272,12	99,65	374,40
23	256,88	338,93	107,17	297,02
24	443,49	237,10	110,58	208,83
25	337,38	502,12	167,57	-
26	293,89	596,80	-	190,11
27	260,80	486,98	38,40	213,82
28	154,09	197,64	188,18	460,10
29	122,53	293,23	260,59	323,65
30	226,90	394,99	216,29	161,82
31	286,67	343,28	203,24	166,82
32	121,48	376,75	220,14	281,63
33	86,17	338,34	225,63	349,86
34	155,02	329,79	306,35	208,83
35	271,64	216,84	227,81	283,71
36	56,41	570,98	185,83	186,78
37	344,94	344,94	205,29	104,83
38	450,79	450,79	-	207,58
39	287,40	287,40	218,44	206,75
40	351,28	351,28	129,37	168,06
41	248,38	248,38	241,99	261,25
42	256,69	256,69	383,03	103,58
43	334,87	334,87	298,23	32,03
44	357,03	357,03	128,27	157,66
45	315,34	315,34	254,92	114,40
46	295,86	295,19	185,97	222,98
47	224,13	223,46	389,75	162,66
48	302,67	302,01	268,44	126,88
49	199,18	198,52	341,06	261,25
50	241,05	240,39	317,22	201,34

Em altitude maiores, entre 888 m e 862 m, há a presença de Latossolo, e em altitudes menores, entre 858 m e 838 m, as classes de solo encontradas foram Cambissolo e Gleissolo (observação no campo), com pouca variação na textura. As classes de solo das veredas variam espacialmente, comportando diferentes

funções ao longo das vertentes. Nas áreas mais altas, os solos são mais profundos e com estruturas granulares, favorecendo a infiltração de água. Nas cotas mais baixas, o solo tende a ter argilas de maior atividade e maior teor de matéria orgânica, melhorando a retenção de poluentes e a qualidade da água. Esses resultados caracterizam a distribuição espacial das frações granulométricas conforme a variação da altitude, indicando que existe um gradiente de alteração da granulometria, podendo relacionar esses dois atributos.

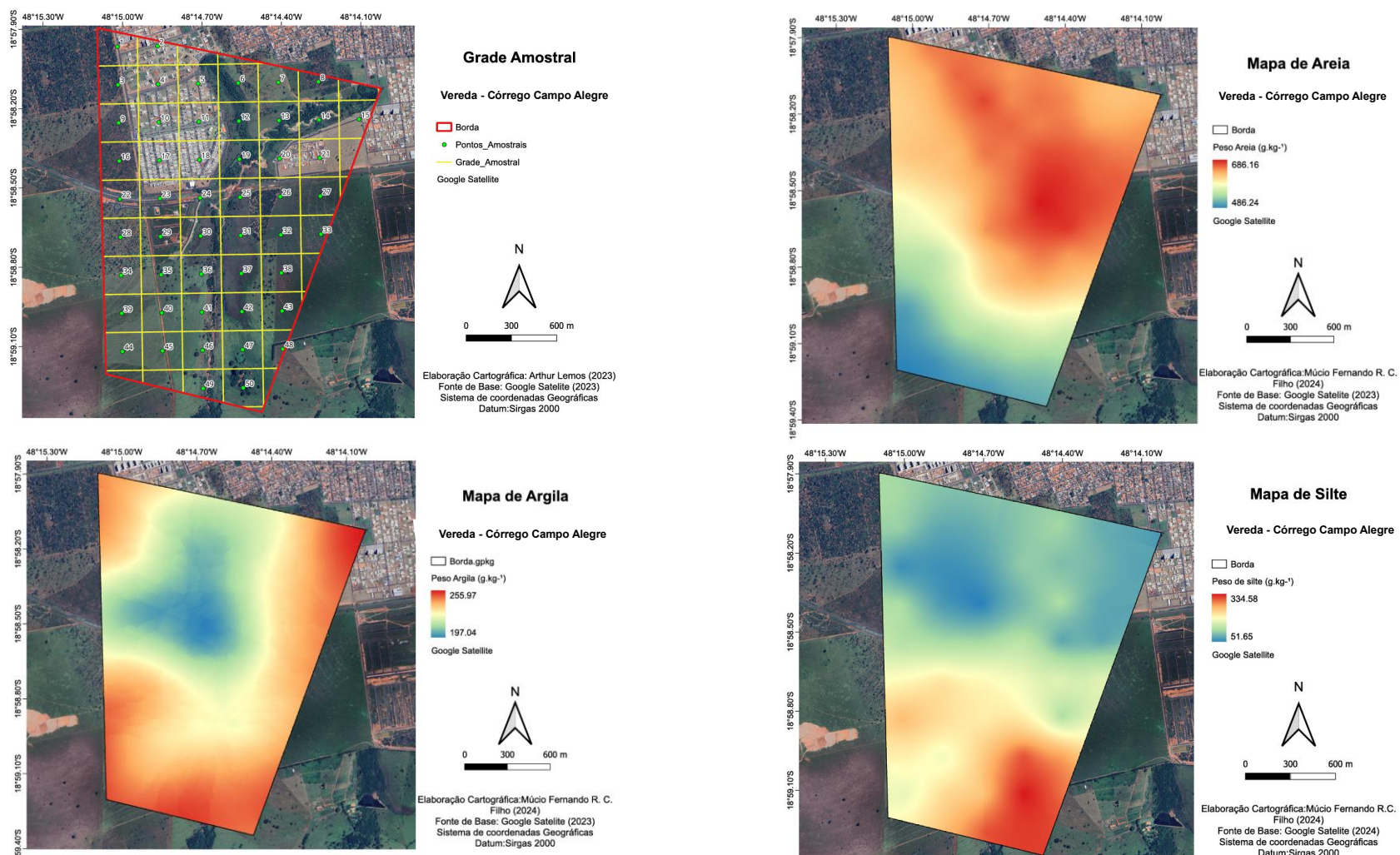


Figura 5. Grade amostral e distribuição espacial das frações granulométricas do solo na área de estudo inserida na microbacia hidrográfica do córrego Campo Alegre no ano de 2023.

A distribuição textural correlacionou-se com a altitude dos pontos, apesar de não ter sido tão expressiva, exceto pela fração silte. Em altitudes maiores, entre 888 m e 862 m, os teores médios de areia, silte e argila foram de 595 g/kg, 100 g/kg e 304 g/kg, respectivamente. Enquanto em menores altitudes – 858 m a 838 m, com valor médio até duas vezes maior de silte (263 g/kg) os teores médios de areia e argila foram 514 g/kg e 221 g/kg, respectivamente. Os maiores teores de areia estão na parte superior da vereda, com o oposto observado para a distribuição de argila e silte. O aumento do teor de silte e argila, na extremidade inferior da vereda, está relacionado com o transporte e deposição de sedimentos. Isto ocorre como resultado da severa erosão da área, sendo a granulometria um importante indicador de qualidade ambiental. Os processos físicos de degradação destroem as estruturas do solo e favorecem o transporte das partículas primárias, alterando a distribuição textural.

Devido ao seu tamanho maior, a areia tem uma capacidade de retenção iônica é praticamente nula, não apresentando habilidade em reter íons em sua superfície (Menezes & Lima, 2020). Além disso, a areia possui menor porosidade, o que diminui a área disponível para a adsorção de metais na superfície das partículas. Em solos arenosos, os elementos-traço têm maior mobilidade, uma vez que a capacidade de adsorção é limitada pela menor área superficial das partículas e pela maior drenagem, o que favorece a lixiviação para camadas mais profundas ou para corpos d'água adjacentes (Silva *et al.*, 2014).

Também a eficácia na retenção de elementos-traço pela fração silte é limitada pela menor área superficial específica e cargas elétricas superficiais em comparação com a argila (Pereira & Costa, 2016). Em solos com alta concentração de silte, os íons ainda podem ser relativamente móveis, mas sua taxa de lixiviação tende a ser mais baixa do que em solos arenosos. Além disso, o silte pode formar associações com a fração argilosa, o que pode influenciar a retenção de metais em função da interação entre as partículas dessas frações (Menezes & Lima, 2020).

A fração argila é composta por partículas muito pequenas (diâmetro inferior a 0,002 mm) e tem uma área superficial extremamente alta, o que a torna a fração com maior capacidade de adsorver elementos-traço. Isso ocorre devido à alta carga negativa das partículas de argila, que atraem cátions metálicos, como Cd, Pb e Cu, devido à interação eletrostática (Silva *et al.*, 2014). Além disso, a argila tem uma alta capacidade de troca catiônica (CTC), o que significa que ela pode reter uma

quantidade significativa de íons metálicos, tornando os solos argilosos eficazes na retenção desses contaminantes. Em solos argilosos, os metais têm menor mobilidade, uma vez que são fortemente adsorvidos, reduzindo a lixiviação e a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas (Pereira & Costa, 2016).

É importante considerar que, devido ao uso e ocupação dos solos, as funções ecossistêmicas da vereda se encontram completamente alteradas. A transformação física dos solos impede a lenta infiltração da água, reduzindo a capacidade de retenção de poluentes e fazendo com que estes encontrem rapidamente os cursos de água superficiais. Como estão localizadas no terço inferior do relevo, as veredas sofrem influência das atividades humanas realizadas no entorno, que atingem o ambiente de forma direta - pelo desmatamento e contaminação por resíduos; - ou indireta - pelo carreamento de sedimentos, lixiviação de íons, perda da qualidade física, entre outros.

Vale notar que na classificação dos solos em trincheiras preparadas no interior da erosão (Figura 6) é bem clara a presença de horizontes mais arenosos em superfície associados a horizontes orgânicos. Entretanto, como a degradação física é muito intensa na área, os perfis não representam a realidade do local em termos de distribuição da granulometria no espaço. Os resultados apontam que há o transporte e deposição de silte na parte inferior da vereda, o que pode ser um forte indicador de que os poluentes aportados ao solo nos locais mais altos, sejam transportados para esta região junto com as partículas maiores.

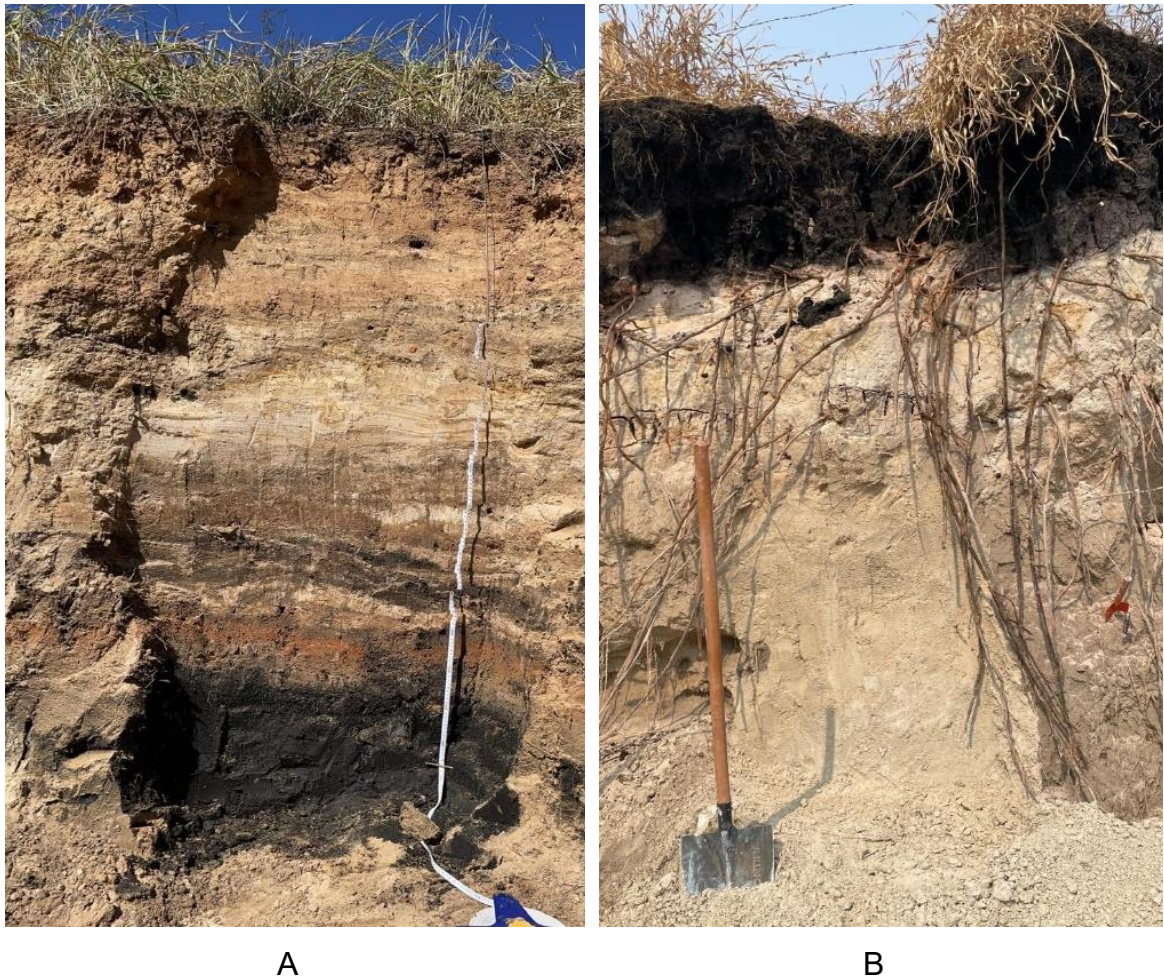


Figura 6. A. perfil de solo da área de estudo do córrego classificado como Neossolo Flúvico Psamítico típico e B. Organossolo Háplico Sáprico térreo. Fonte: Araújo Humann Batista, 2024

4.3 Distribuição espacial de Cd, Cr, Pb, Ni, Zn, Cu, Mn e Fe

Na Tabela 2 são apresentados os teores pseudototais dos elementos-traço Cd, Cr, Pb, Ni, Zn, Cu, Mn e Fe em unidades de mg/dm^3 para todos os pontos coletados na grade amostral.

Tabela 2: Concentrações de elementos-traços em cada ponto da grade amostral.

Amostras	Cu	Zn	Mn	Fe	Cd	Ni	Cr	Pb
mg/dm ³								
P1	10,61	9,38	72,62	50400	0,87	34,66	10,90	4,76
P3	10,61	8,27	84,79	59663	1,35	29,24	33,46	4,76
P4	18,09	12,71	88,11	59031	1,47	40,07	40,98	7,41
P5	17,02	12,71	100,28	60926	2,80	40,07	37,22	16,67
P6	17,38	9,38	100,83	64294	1,83	16,61	44,74	16,67
P7	14,17	11,04	113,55	55242	1,47	13,00	29,70	19,31
P8	12,39	11,04	68,75	60294	1,95	9,39	25,94	7,41
P9	14,53	14,93	88,11	60715	3,16	14,80	29,70	15,34
P10	21,65	17,15	127,93	71031	2,68	14,80	33,46	11,38
P11	22,72	16,04	108,02	67663	2,44	18,41	25,94	8,73
P12	58,69	10,49	75,39	66189	2,20	13,00	25,94	0,79
P13	29,13	28,25	72,62	33768	0,63	5,78	25,94	11,38
P14	53,35	53,77	53,82	46610	1,23	9,39	22,18	0,79
P15	39,46	37,68	88,66	57557	0,39	13,00	22,18	0,79
P16	25,21	36,02	94,19	63031	0,99	11,19	25,94	11,38
P17	27,71	54,33	132,91	67031	0,87	34,66	25,94	14,02
P18	96,44	49,33	137,33	73347	1,23	38,27	22,18	12,70
P19	38,39	20,48	41,65	60084	0,87	32,85	22,18	19,31
P20	64,03	23,81	46,07	44505	0,87	20,22	33,46	24,60
P21	16,67	19,37	175,50	61978	1,83	29,60	48,50	16,67
P22	12,39	38,79	114,66	67663	1,23	40,07	56,02	19,31
P23	19,87	38,24	99,17	67242	0,75	23,83	40,98	12,70
P24	16,31	13,82	47,73	49136	0,63	45,49	52,26	7,41
P25	13,11	8,27	21,74	34400	0,51	23,83	29,70	19,31
P26	14,53	26,58	88,11	58400	0,27	32,85	37,22	25,93
P27	18,80	32,13	151,71	65347	1,83	38,27	29,70	28,57

P28	16,31	45,45	110,23	62610	2,68	54,51	37,22	25,93
P29	20,23	16,59	152,27	63663	2,56	54,51	48,50	24,60
P30	18,45	21,59	25,61	52294	1,59	43,68	33,46	16,67
P31	19,16	9,38	87,00	33347	1,95	3,97	10,90	20,63
P32	23,79	17,15	104,15	61347	2,08	16,61	22,18	19,31
P33	21,65	28,80	101,38	62189	2,44	18,41	48,50	12,70
P34	88,25	38,24	50,50	66400	1,23	22,02	44,74	14,02
P35	79,34	20,48	71,52	57136	0,63	23,83	37,22	4,76
P36	40,88	30,47	58,79	41978	0,87	14,80	7,14	10,05
P37	28,77	8,82	20,08	32715	1,11	13,00	3,38	6,08
P38	29,13	16,59	62,11	52926	1,59	16,61	7,14	8,73
P39	59,76	39,90	108,02	63031	0,87	5,78	33,46	11,38
P40	58,33	29,91	98,06	51873	1,11	2,17	40,98	4,76
P41	24,15	104,83	250,72	79663	1,11	16,61	59,77	14,02
P42	44,09	17,70	38,88	39242	1,47	2,17	29,70	11,38
P43	191,52	24,92	67,09	57136	1,11	34,66	44,74	17,99
P44	32,69	41,56	98,06	53347	1,35	40,07	44,74	12,70
P45	29,49	37,13	148,40	54821	1,83	43,68	33,46	7,41
P46	37,68	59,32	264,55	75452	0,99	59,93	63,53	16,67
P47	41,60	8,32	299,94	67452	0,75	50,90	56,02	19,31
P48	32,69	35,46	98,62	50189	1,35	36,46	29,70	11,38
P49	44,09	72,64	226,94	71031	2,56	40,07	59,77	14,02
P50	139,17	119,26	401,16	79031	2,44	29,24	78,57	16,67
VQRs	49,00	46,50	-	-	0,40	21,50	75,00	19,50

Alguns elementos-traço são classificados como essenciais, como Cu, Zn, Mn, Ni e Fe, porém quando em excesso são considerados tóxicos. Por outro lado, existem elementos que não apresentam essencialidade em nenhuma concentração como Cd, Hg e Pb, não possuindo nenhuma função biológica e são capazes de causar problemas no metabolismo. (Valls & Lorenzo 2002; Sarwar *et al.*, 2017).

Para minimizar os efeitos dos elementos-traço a maioria dos países estabelece o teor máximo aceitável no solo e na água. No Brasil os teores são determinados pela resolução 420/2009 do CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2009), e as avaliações dos teores acontecem através dos Valores de Referência de Qualidade (VRQ's) dos solos de Minas Gerais, atendendo a normativa nº 166 2011 do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), que é a legislação vigente no estado. Os elementos Cd, Cr, Pb, Ni, Zn, Cu, Mn e Fe possuem valores de referência de qualidade de <0,4 mg/dm³, 75 mg/dm³, 19,5 mg/dm³, 21,5 mg/dm³, 46,5 mg/dm³, 49 mg/dm³, respectivamente (COPAM, 2011).

Em solos saturados por água a presença do Fe é importante por causa das reações de oxirredução, que influenciam na disponibilidade e pode também reduzir a mobilidade de outros metais, como o Mn e o Zn, formando complexos metálicos insolúveis com as frações minerais do solo (Pereira & Costa, 2016). Em ambientes com condições hidromórficas, o Fe³⁺ é reduzido a Fe²⁺ (Figura 7) agindo como acceptor final de elétrons, normalmente o potencial redox varia entre 100 e 300 mV. O Fe²⁺ é móvel e pode ser transportado para camadas mais profundas do solo ou ser lixiviado pela água. (Camargo *et al.*, 1999; Menezes & Lima, 2020). Além do Fe, os elementos Mn e Zn também podem ser submetidos a reações de redução em solos hidromórficos e podem ser facilmente disponibilizados como Mn²⁺ e Zn²⁺ por causa da afinidade geoquímica destes elementos formando complexos metálicos insolúveis com as frações minerais do solo (Pereira & Costa, 2016). Ressalta-se que a remoção do Fe devido ao aumento de sua mobilidade, leva à desferritização, processo responsável pela formação do horizonte glei (cores acinzentadas) que dão origem aos Gleissolos (Ramos *et al.*, 2006).



Figura 7. Imagem aérea do Córrego Campo Alegre com destaque para a coloração vermelha, evidência de ferro que foi removido do perfil do solo por redução e posterior oxidação no local da imagem. Fonte: Arthur Lemos, 2024.

Em solos com pH baixo e alta saturação por água, os três metais (Fe, Mn e Zn) podem estar na forma de cátions solúveis, o que aumenta a competição pela adsorção nas partículas finas de argila e nas substâncias orgânicas (Menezes & Lima, 2020. Silva *et al.*, 2014). No entanto, sob condições de maior oxidação, o Fe e o Mn formam compostos insolúveis, o que pode reduzir a competição direta com o Zn. Em alguns casos, a presença de um metal pode aumentar a disponibilidade ou a mobilidade de outro. Por exemplo, em solos com altas concentrações de Fe^{3+} , a formação de óxidos de ferro pode aumentar a retenção de Zn, ao formar complexos insolúveis que impedem a lixiviação do metal. O Mn pode também ajudar na retenção do Zn ao se ligar nas partículas de argila ou matéria orgânica, formando complexos metálicos e organometálicos (Pereira & Costa, 2016).

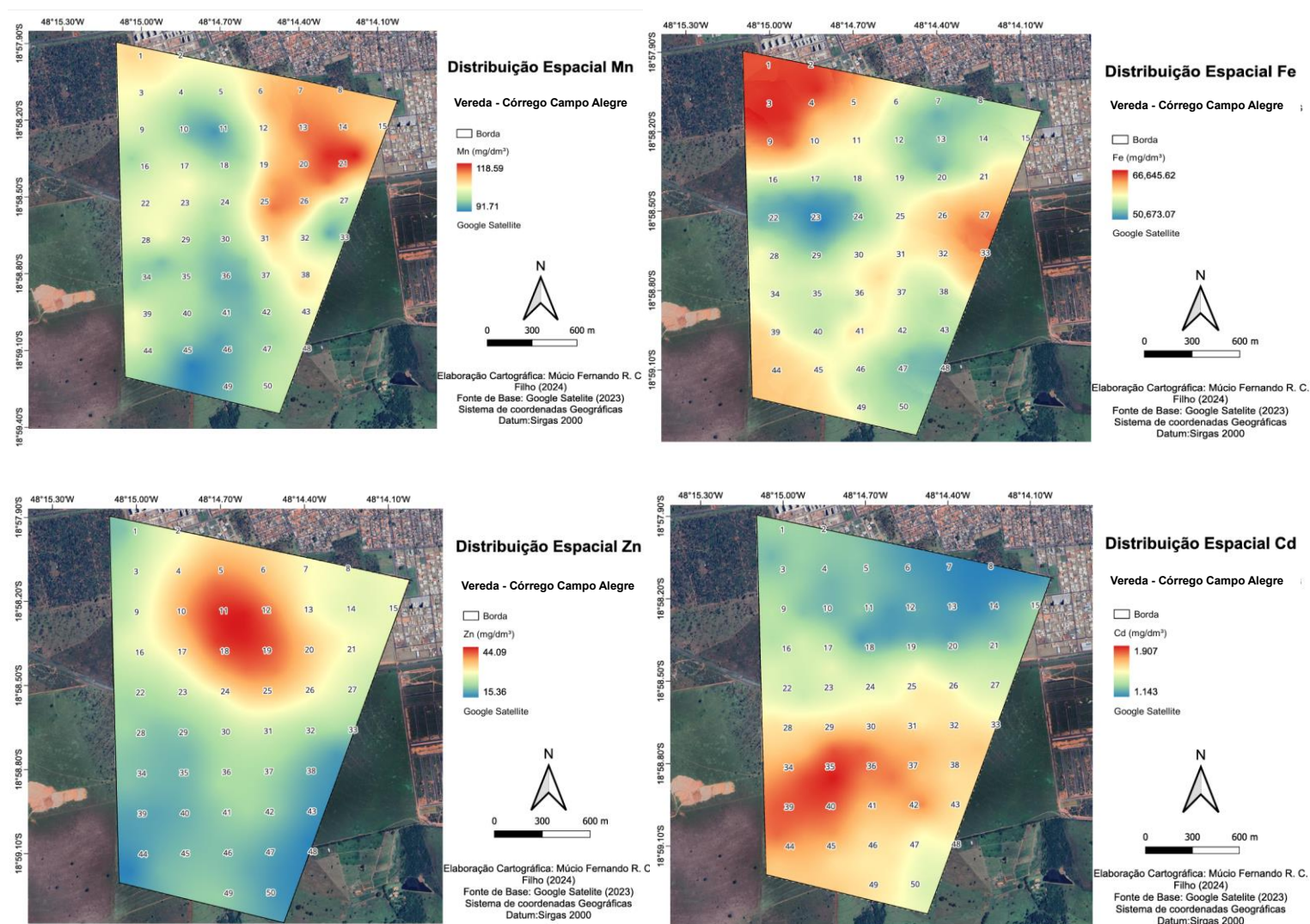


Figura 8. Distribuição espacial de Mn, Zn, Cu, Fe, Cd, Cr, Pb e Ni nos solos área de estudo na microbacia do Córrego Campo Alegre.

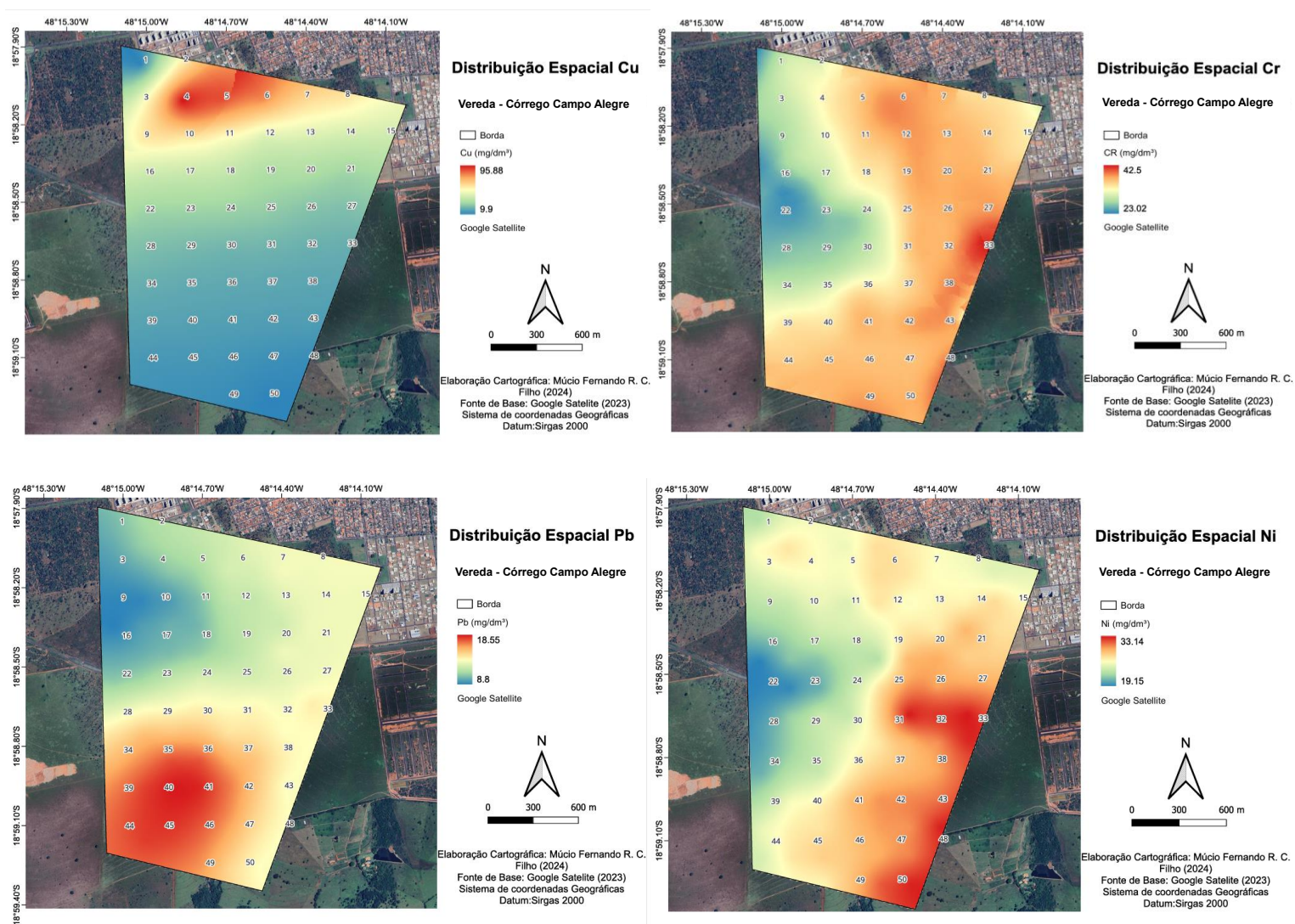


Figura 8. Distribuição espacial de Mn, Zn, Cu, Fe, Cd, Cr, Pb e Ni nos solos da área de estudo na microbacia do Córrego Campo Alegre.

Os dados obtidos são preocupantes em relação aos teores pseudototais de Cd, que foram superiores aos VRQs na maior parte dos pontos amostrados (Figura 8, Tabela 2). O VRQ determinado para Cd deve ser inferior a 0,4 mg/dm³ (COPAM, 2011). Dos 50 pontos amostrados, 49 apresentaram concentrações superiores ao limite estabelecido pela legislação, com valores que variaram entre 0,39 mg/dm³ e 3,16 mg/dm³.

O Cd foi caracterizado como um dos elementos-traço mais perigosos e problemáticos além do Pb (Nossa, 2010). Este elemento é disponibilizado no ambiente por minas, fundições de metais, indústrias de ligas, baterias, pigmentos, plásticos, pelo uso de fertilizantes fosfatados, águas residuais, tráfego industrial e fábricas de cimento (Vigil *et al.*, 2018, Menezes *et al.*, 2020). A agricultura com seu avanço contribui no agravamento dos níveis de Cd em solos agrícolas (Leduc e Terry, 2005).

Nota-se que os maiores valores de Cd se relacionaram com as maiores concentrações de silte (Figuras 5, 8 e 9) (parte inferior da vereda) o que pode ser explicado pelo transporte do contaminante pela água da chuva, junto com os sedimentos de tamanho silte, depositados nas áreas mais baixas devido à erosão. Além disso, é possível observar que há uma concentração considerável desse elemento na região inferior aos pontos 28, 29, 30, 31 e 32, que são tangentes à rodovia Anel Viário Setor Sul.

Estudos realizados em solos do estado de Minas Gerais, em região de veredas, reportaram concentrações médias de Cd entre 0,05 e 0,2 mg/kg. Mesmo com picos em áreas impactadas por atividades agrícolas ou industriais, essas concentrações estão geralmente abaixo do limite de 1 mg/kg recomendado pela legislação para solos destinados à agricultura. Os autores relatam, entretanto que em algumas áreas, como nas zonas de contato com fontes industriais, as concentrações podem ultrapassar esse valor (Vigil *et al.*, 2018).



Figura 9. Imagem obtida no ponto 46, região com maior teor de argila e silte e maior concentração de Cd. O material que pode ser observado na imagem é uma deposição de sedimentos oriundos das regiões mais altas do relevo Fonte: Araína Hulmann Batista (2023).

Um dos elementos cujos resultados foram superiores aos VRQs foi o Pb. Com elevado potencial de contaminação ele pode ser aportado no ambiente através de várias fontes, como emissões industriais, combustíveis, resíduos urbanos e defensivos agrícolas (Pereira *et al.*, 2015). Uma vez no solo, o Pb tende a acumular-se e persistir por longos períodos, sendo difícil removê-lo completamente (Duarte & Pasqual, 2000). A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) classifica o chumbo como um dos principais poluentes, devido aos seus efeitos adversos significativos à saúde humana e ao ambiente considerado como o segundo elemento mais ameaçador, ficando atrás apenas do arsênio (As) (ATSDR 2017). O valor de referência de qualidade do Pb para solos é de 19,5 mg/dm³. De acordo com os resultados pode ser observado o maior acúmulo desse elemento na parte inferior esquerda do mapa, nos pontos 39, 40, 41, 44, 45 e 46, correlacionando-se, principalmente, com a distribuição granulométrica, com maior acúmulo na área de maior concentração de argila. Nota-se ainda que os maiores valores de Pb ocorrem em áreas onde o uso do solo é com agricultura e pastagem, levando a consideração da hipótese de que o elemento está associado ao uso de insumos agrícolas e a presença de animais.

Em estudo feito em Minas Gerais, em locais de mineração de ouro e ferro, alguns solos de veredas apresentaram concentrações de chumbo em torno de 2,5 a 5 mg/kg, sendo o limite permitido pela legislação de 2 mg/kg (Menezes *et al.*, 2020). Assim, os pontos amostrados na área de estudo da microbacia do Córrego Campo Alegre foram muito acima destes valores.

O VRQ do níquel é de 26,11 mg/dm³ e a distribuição do elemento na área mostram valores que variaram de 2,17 mg/dm³ até 59,93 mg/dm³ (Figura 8). As maiores concentrações foram encontradas no quadrante direito, tanto na parte superior, quanto inferior da vereda, relacionando-se com as maiores concentrações de argila. Além disso, o acúmulo desse elemento está nas maiores altitudes e abrange a parte urbanizada. Estudos de solos de veredas no Brasil mostram que a concentração de níquel pode variar de 0,5 a 5 mg/kg em solos não impactados diretamente por fontes de contaminação antropogênica, sendo o limite recomendado de 20 mg/kg (Pereira *et al.*, 2015).

O elemento Cr segue o mesmo padrão de distribuição de concentração do Ni, com o valor máximo encontrado no ponto 50, de 78,57 mg/dm³. O VRQ para Cr é de 34,74 mg/dm³, portanto, diversos pontos na área foram superiores ao estabelecido pela legislação. O Cr tem como principais fontes os resíduos industriais liberados por diferentes indústrias, como têxteis, tintas, produtos químicos, couro e papel (Ramírez, 2013), além de estar presente no material de origem. Na forma natural pode ocorrer em vários estados de oxidação, desde Cr (II) até Cr (VI). O Cr (III) não apresenta alta toxicidade e demonstra uma alta capacidade de ser adsorvido pela fase sólida do solo, ao contrário do Cr (VI), que é altamente tóxico, muito solúvel e não se fixa facilmente em ambientes naturais (Kotas e Stasicka, 2000). Os elevados valores de Cr encontrados na parte inferior da vereda, associados à fração argila, indicam que o elemento teve sua mobilidade reduzida pelas cargas elétricas do solo. Porém, são fortes os indícios de que este elemento seja oriundo de fontes antrópicas, uma vez que as áreas mais preservadas (cerrado nativo), foram as que apresentaram os menores valores deste e de outros elementos. Exceção para o Fe, que ocorre naturalmente nos solos oxídicos do Cerrado.

O Cu tem maiores índices na parte superior da vereda, fugindo do padrão dos outros elementos, ele está diretamente relacionado com a parte urbanizada do mapa e com a fração areia, além de correlacionar com a maior altitude (870m -

860m), sendo os pontos 4,5,6 com maiores concentrações. O valor de qualidade de referência o Cu é 49 mg/dm³, com médias variando entre 191,25 mg/dm³ a 10,61 mg/dm³, entretanto, grande parte dos pontos deram alteração.

As fontes antrópicas de cobre são bastante significativas e incluem atividades como a mineração de cobre, a indústria metalúrgica, o uso de pesticidas e o uso de fertilizantes. Além disso, o uso de fertilizantes fosfatados frequentemente contém traços de cobre, que são gradualmente liberados para o solo com o tempo (Pereira *et al.*, 2015). A lixiviação e erosão também podem contribuir para a mobilização do cobre no solo e sua transferência para corpos d'água, o que pode resultar em contaminação ambiental (Vigil *et al.*, 2018).

5. CONCLUSÕES

A distribuição das frações areia, silte e argila, correlacionaram-se com a altitude dos pontos amostrados.

Nas cotas altimétricas mais baixas houve grande incremento de argila e silte, indicando transporte de sedimentos devido aos processos erosivos.

Os resultados apontam para o fato de que os contaminantes presentes na área são oriundos das atividades humanas - sendo a urbanização responsável pelos maiores aportes.

A preservação das veredas é crucial, pois elas enfrentam ameaças. A gestão sustentável desses ecossistemas é necessária para garantir seus benefícios para as gerações futuras.

6. REFERÊNCIAS

ALLOWAY, Brian J. **Heavy Metals in Soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability**. 3. ed. Eua: Springer, 2013. 22 v. DOI 10.1007/978-94-007-4470-7.

ANDRADE, C.W.L.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; MIRANDA, J.H.; MONTENEGRO, A.A.A.; ASSIS, F.M.C.V. **Simulation of sodium and potassium dynamics by the HYDRUS 2D model in a haplic planosol via residue water**. Engenharia Agrícola, v. 38, n.36, p.874-884, 2018. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n6p874-884/2018>

BASSO, J. B.; KIANG, C. H. **Retardamento e dispersão hidrodinâmica de cobre, potássio e cloreto em solos residuais do subgrupo itararé no estado de São Paulo**. Águas Subterrâneas, v. 31, n. 1, p. 117-133, 2017. <https://doi.org/10.14295/ras.v31i1.28638>

BRASIL. **Deliberação Normativa COPAM nº 166, de 29 de junho de 2011**. O CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM, no uso das atribuições que lhe confere o art. 5º da Lei Estadual nº 7.772, de 08 de setembro de 1980, nos termos do art. 201, I e 202, II, da Lei Delegada nº 180, 20 de janeiro de 2011. Considerando a necessidade de se estabelecer Valores de Referência de Qualidade dos Solos para o Estado de Minas Gerais. Minas Gerais: Diário do Executivo, 27 jul. 2011.

BRASIL. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Conselho Nacional De Meio Ambiente (CONAMA). DOU nº 249, de 30/12/2009, págs.81-84, Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=601

Burbridge, P. R. **Integrated planning and management of freshwater habitats, including wetlands**. Hydrobiologia, v. 285, p. 311-322, 1994. <https://doi.org/10.1007/BF00005678>.

CARVALHO, C. B. *et al.* **Mobilidade de contaminantes em solos arenosos após a aplicação de águas residuárias tratadas produzidas em indústria siderúrgica.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, [S.L.], v. 26, n. 5, p. 819-828, out. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220200339>.

DUARTE, R. P. S.; Pasqual, A. **Avaliação do cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) em solos e plantas às margens de uma rodovia de tráfego intenso de veículos.** 2003. x, 127 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2003.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação dos solos.** Embapa Soils, 1979. <https://www.embrapa.br/en/solos/sibcs/propriedades-do-solo?link=sibcs>

ESTADOS UNIDOS. **Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Investigando riscos ambientais para promover a saúde da comunidade: Relatório anual de 2017 da Agência de Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças (ATSDR).** <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/60707>

FRACHIA, C. L *et al.* **Inga uruguensis response to lead: effects on growth and nitrogenous compounds.** Rodriguésia, [S.L.], v. 73, n. 1, p. 1-1, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860202273063>.

FREITAS, R.E.; Maciente, A. N. **Culturas agrícolas líderes nas mesorregiões mais dinâmicas.** Radar da Tecnologia, Produção e Comércio Exterior, v. 43, p. 63-74, 2016. <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/6055>.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. **Particle-size analysis.** In: KLUTE, A. (ed.), **Methods of soil analysis.** Part 1: Physical and mineralogical methods. Madison, American Society of Agronomy, 1986, p. 383 - 412.

GIFFONI, S.N. **Caracterização comportamental das feições erosivas na Bacia do Córrego Campo Alegre com base nos estudos geológico-geotécnicos - perímetro urbano de Uberlândia - MG.** 2010. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/14147>.

GUIMARÃES, A. J.; ARAÚJO, G. M.; CORRÊA, G. F. **Estrutura fitossociológica em área natural e antropizada de uma vereda em Uberlândia, MG.** Acta Botânica Brasílica, Belo Horizonte, v. 16, n. 3, p. 317-329, 2002.

HORÁK-TERRA, Ingrid *et al.* **Soil characterization and drainage effects in a savanna palm swamp (vereda) of an agricultural area from Central Brazil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 46, nov. 2022. Revista Brasileira de Ciência do Solo. <http://dx.doi.org/10.36783/18069657rbcS20210065>.

HOULAHAN, J.E. *et al.* **The effects of adjacent land use on wetland species richness and community composition.** Wetlands, v. 26, p. 79-96, 2006. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2006\)26\[79:TEOALU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2006)26[79:TEOALU]2.0.CO;2)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cerrado: o berço das águas. <http://www.ibge.br/>.

INSTITUTO SOCIEDADE, POPULAÇÃO E NATUREZA - ISPN. O Buriti – a palmeira de mil e uma utilidades, 2008. Disponível em: <<http://www.ispn.org.br/oburiti-a-palmeira-de-mil-e-uma-utilidades/>> Acesso em outubro de 2014.

JORIS, H.A.W. *et al.* **Adsorção de metais pesados após calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto.** Revista Ciência Agronômica, [S.L.], v. 43, n. 1, p. 1-10, mar. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-66902012000100001>.

KOTAS, J.; STASICKA, Z. **Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation.** Environmental Pollution, [S.L.], v. 107, n. 3, p. 263-283, mar. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00168-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00168-2).

LEDUC, D.L.; TERRY, N. **Phytoremediation of toxic trace elements in soil and water.** Journal Of Industrial Microbiology & Biotechnology, [S.L.], v. 32, n. 11-12, p. 514-520, 10 maio 2005. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1007/s10295-005-0227-0>.

MACHADO, R.L *et al.* **Soil and nutrient losses in erosion gullies at different degrees of restoration.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 34, n. 3, p. 945-954, jun. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000300036>.

MAGALHÃES, G.C. *et al.* **Metais potencialmente tóxicos em rios a montante do Pantanal Norte.** Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science,

[S.L.], v. 11, n. 4, p. 833, 25 out. 2016. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1827>.

MENEZES, R. P.; LIMA, E. S. **O efeito da textura do solo na retenção de cádmio e outros metais pesados**. Revista de Agricultura Sustentável, v. 15, n. 2, p. 203-215, 2020.

MORAES, P. P. F.; HORN, A. H. **Teores dos metais pesados Cr, Cd e Zn em perfis de solos de veredas da bacia do Rio do Formoso, município de Buritizeiro, Minas Gerais**. Geonomos, Belo Horizonte, v. 18, p.78-85, 2010.

MOURÃO, N.M.; ENGLER, R.C; MACIEL, R.C. **Povos tradicionais e manejo de recursos naturais: valores socioambientais das comunidades ao entorno da Reserva Estadual de Desenvolvimento Sustentável Veredas do Acari – Minas Gerais/Brasil**. Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade ,<https://periodicos.cl.claec.org/index.php/relação/artigo/visualizar/490>.

NAZ, R. *et al.* **Assessment of phytoremediation potential of native plant species naturally growing in a heavy metal-polluted industrial soils**. Brazilian Journal Of Biology, [S.L.], v. 84, p. 1-1, nov. 2024. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.264473>.

NAZIR, A., MALIK, R.N., AJAIB, M., KHAN, N. and SIDDIQUI, M.F., 2011. **Hyperaccumulators of heavy metals of industrial areas of Islamabad and Rawalpindi**. Pakistan Journal of Botany, vol. 43, pp. 1925-1933.

PEREIRA, H. A.; COSTA, F. F. **Dinâmica dos metais pesados em solos de cerrado: o caso do chumbo**. Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 91, p. 230-243, 2015.

RAMÍREZ, A. **Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos**. Anales de La Facultad de Medicina, [S.L.], v. 63, n. 1, p. 51, 13 mar. 2013. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Vicerectorado de Investigacion. <http://dx.doi.org/10.15381/anales.v63i1.1477>

RAMOS, M.V.V. *t al.* **Veredas do triângulo mineiro: solos, água e uso**. Ciência e Agrotecnologia, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 283-293, abr. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542006000200014>.

RAMOS, M.V.V., CURI, N., MOTTA P.E.F., VITORINO, A.C.T., FERREIRA, M.M., SILVA, M.L.N. **Veredas do Triângulo Mineiro: Solos, água e uso**. Cienc Agrotec. 2006; 30:283-93. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000200014>

RIBEIRO, J.F, WALTER, B.M.T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado**. In: Sano SM, Almeida SP, editores. Cerrado: Ambiente e flora. Planaltina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; 1998. p.89-166.

SAJAD, M.A.; KHAN, M.S.; BAHADUR, S.; SHUAIB, M.; NAEEM, A.; ZAMAN, W.; ALI, H., 2020. **Nickel phytoremediation potential of some plant species of the Lower Dir, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan**. Limnological Review, vol. 20, no. 1, pp. 13-22. <http://dx.doi.org/10.2478/limre-2020-0002>

SANTOS, J. D. O. *et al.* **A Physiological behavior and tolerance of *Lactuca sativa* to lead nitrate and silver nitrate heavy metals**. Brazilian Journal Of Biology, [S.L.], v. 82, p. 1-1, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.237604>.

SARWAR, Nadeem *et al.* **Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: modifications and future perspectives**. Chemosphere, [S.L.], v. 171, p. 710-721, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.116>.

SCHAEFFER, R.M. *et al.* **Solos orgânicos e glei no Brasil: características, classificação e manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 45, e0200150, 2021. DOI: 10.36783/18069657rbcS20200150

SHAARI, N. E. M. *et al.* **Cadmium toxicity symptoms and uptake mechanism in plants: a review**. Brazilian Journal Of Biology, [S.L.], v. 84, n. 1, p. 1-1, 2024. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.252143>.

SILVA, L. L. **O papel do estado no processo de ocupação das áreas de cerrado entre as décadas de 60 e 80**. Caminhos de Geografia, v.1, p.24-36, 2000.

SOUSA, R. F. *et al.* **Soil organic matter fractions in preserved and disturbed wetlands of the cerrado biome**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 39, n. 1, p. 222-231, fev. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcS20150048>.

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, [S.L.], v. 15, n. 8, p. 861-866, ago. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662011000800014>.

TEIXEIRA, S. D. O.; Nascimento, A. L.; Silva, F. P. (2021). **Veredas and their role in regulating the water cycle in the Cerrado biome.** Water Resources Research, v. 57, n. 8, e2020WR029306. DOI: 10.1029/2020WR029306.

US EPA. **Residual Risk Report to Congress 1999.** This report was prepared by the U.S. Environmental Protection Agency's Office of Air Quality Planning and Standards (OAQPS) with substantial input and review by other EPA Offices and other federal agencies, 1999. https://www.epa.gov/sites/default/files/2013-08/documents/risk_rep.pdf

VALLS, M; DELORENZO, V. **Exploiting the genetic and biochemical capacities of bacteria for the remediation of heavy metal pollution.** Fems Microbiology Reviews, [S.L.], v. 26, n. 4, p. 327-338, nov. 2002. Wiley. [http://dx.doi.org/10.1016/s0168-6445\(02\)00114-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0168-6445(02)00114-6).

VIGIL, K.; Neri, M. J.; Silva, D. F. **Chumbo em solos agrícolas: fontes e implicações ambientais.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 42, p. e0150267, 2018.

WALTER, B.M.T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas.** Tese de doutorado defendida no Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília. <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/8751>

YARDAM, E. *et al.* **Rehabilitation of degraded dryland ecosystem: review.** Silva Fennica, v. 51, n. 1B, p. 1-32, 2017. <http://doi.org/10.14214/sf.1673>.