



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**RELAÇÃO DE ATRIBUTOS MINERAIS E ORGÂNICOS DO SOLO DE UMA
PASTAGEM NA REGIÃO DE CERRADO DO BRASIL CENTRAL: USO
POTENCIAL COMO INDICADORES DE MANEJO DE SOLO**

GIOVANNA FERREIRA ARAUJO

Brasília, DF

2023

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CDS)

DEPARTAMENTO DE ECONOMIA (ECO)

INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (IB)

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS (IG)

INSTITUTO DE QUÍMICA (IQ)

CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**RELAÇÃO DE ATRIBUTOS MINERAIS E ORGÂNICOS DO SOLO DE UMA
PASTAGEM NA REGIÃO DE CERRADO DO BRASIL CENTRAL: USO
POTENCIAL COMO INDICADORES DE MANEJO DE SOLO**

GIOVANNA FERREIRA ARAUJO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Graduação em Ciências
Ambientais da Universidade de Brasília,
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Gabriela Bielefeld Nardoto

BRASÍLIA, DF

2023

Aos meus pais que constantemente fizeram meus olhos brilhar e aos meus avôs
Antônio e Anna que me permitiram conhecer um pouco do Paraíso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ser um Pai de milagres e promessas. E por ter me deixado provar do seu amor misericordioso me chamando de filha. Obrigada por me dar uma mãe chamada Maria e um amigo intercessor muito especial chamado São João Paulo II.

Aos meus pais que não mediram esforços na minha formação acadêmica, espiritual e humana. Cláudia e Ricardo, vocês me ensinaram a ter um coração que bate de Amor.

Aos meus irmãos que foram os melhores presentes que recebi! A vida com você é bem mais divertida. Lunna, minha metade, melhor amiga e força, obrigada pelas escutas, incentivos e pela presença. Lucas, meu protetor, meu melhor amigo e tranquilidade, obrigada por vibrar com cada conquista minha. Lembrem-se sempre da nossa bússola.

Ao meu namorado, Eduardo, que me acompanhou e torceu por mim desde o momento de estudos para o vestibular até a entrega desse trabalho. Obrigada pelas conversas e ensinamentos na nossa área. Sabes que esse TCC não seria o mesmo sem você. Obrigada pela compreensão! De fato, você tem um coração apaixonado e apaixonante.

À Cleuzinha que é uma mãe para mim. Seu carinho, presença e motivação foram fundamentais.

À minha orientadora, professora Gabriela Nardoto, obrigada por não desistir de mim! Foi uma honra aprender com você. Obrigada pela oportunidade do estágio no Laboratório de Solos e Vegetação e de descobrir um mundo infinito entre aquelas paredes.

Às minhas amigas da UnB (Luli, Jana, Beta, Nalu e Lu), que facilitaram essa caminhada aqui. A nossa união e torcida genuína uma pela outra foram sustento nesses últimos anos.

Aos meus irmãos do Feixe e os ameixos que nunca deixaram de rezar e me acompanharam nessa jornada (especialmente Aninha e Tati).

As minhas amigas de vida que caminham comigo. Em especial à Lyara que esteve comigo foi comigo fazer minha matrícula na UnB e hoje continua comigo. E à Clarissa que foi colo, escuta e motivação ao longo de tantos anos, inclusive no meu tempo de universidade. Obrigada por sempre se interessarem por cada passo meu na UnB.

Às reuniões e colegas do Environmental Isotope Studies (EIS), que foram fonte de inspiração e ensinamentos ricos na minha caminhada acadêmica. Em especial ao Renato, Marcus Vinicius e Gabriel que me ajudaram tanto no TCC.

Aos meus professores que me ajudaram e me ensinaram tanto. À O2 Empresa Junior que foi intensificou minha curva de aprendizado. À Elaine que sempre foi tão paciente e certa nas dicas e direcionamentos.

Sair da parte sul, atravessar o ICC, passar pelos pavilhões, entre tantos rostos conhecidos e desconhecidos, entre poças de água e um jardim cuidado, até chegar na parte norte. Entrar em uma sala e ver professores sedentos pelo ensino, criar laços com pessoas que eu jamais encontraria se não fosse na aqui. Me aventurar no mercado de trabalho. Ter missa, lanches, oficinas, entre tanto mais. Poder entrar em um laboratório e ver que ele pode ser bem mais interessante do que nos filmes. Aprender, crescer e seguir. Ah! UnB, só que te conhece sabe que lugar como esse não há. Obrigada pelo tempo!

"O amor é a centelha inspiradora de tudo aquilo que vocês são, de tudo aquilo que vocês fazem no mundo."

São João Paulo II

RESUMO

Uma parcela considerável da economia brasileira é fomentada pela atividade agropecuária. A expansão agrícola no Cerrado nas últimas décadas trouxe mudanças significativas na cobertura e uso do solo, favorecidas por fatores como clima e o relevo. Com incentivos governamentais como a política da expansão agrícola, o Estado de Goiás tem sofrido essas modificações de forma intensiva e extensiva. O objetivo de presente trabalho foi investigar a relação entre atributos minerais e orgânicos do solo em local de atividade pecuária em propriedade rural localizada no município de Sanclerlândia, GO, para uso potencial como indicadores de manejo do solo. Foram realizadas quinze coletas de solo em três profundidades (0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm). As amostras foram submetidas a análise de textura, suscetibilidade magnética e matéria orgânica do solo. O valor médio do teor de argila no intervalo de 0-20 cm foi de 41%. A suscetibilidade magnética (SM) de baixa frequência (BF) foi de 255, 264 e 284 $10^{-6}m^3kg^{-1}$ respectivamente para as profundidades 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm. Com valores menores, a Suscetibilidade Dependente da Frequência (SDF) teve valores médios iguais a 4 $10^{-6}m^3kg^{-1}$ para 0-5 cm, 4 $10^{-6}m^3kg^{-1}$ para 5-10 cm e 5 $10^{-6}m^3kg^{-1}$ para 10-20 cm. Já a matéria orgânica do solo (MOS) 0,5 g, 0,5 g, 0,4 g para médias na mesma ordem de profundidade mencionada anteriormente. O valor de desvio padrão na textura foi igual a 8,2 g. Nas profundidades 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm os valores de desvio padrão na SM para BF foram 214, 244 e 258 $10^{-6}m^3kg^{-1}$, respectivamente. Ainda na mesma ordem de profundidade, o desvio padrão da SM na SDF foram 3 $10^{-6}m^3kg^{-1}$, 3 $10^{-6}m^3kg^{-1}$, 3 $10^{-6}m^3kg^{-1}$. Por fim, o desvio padrão da MOS foi de 0,2 g, 0,2 g e 0,1 g para mesma ordem de profundidade apresentada. O valor de R^2 entre BF e argila foi de 0,35, mostrando média relação entre ambos. A classe textural do solo teve maior representatividade para argilo arenosa parcela central do pasto. Com valores altos para SM, de forma geral, os mapas de krigagem para mostraram homogeneidade entre os valores próximos entre as profundidades. A MOS mostrou decréscimo média conforme profundidade aumentava. Os indicadores da textura e MOS mostraram bons indicadores de qualidade de solo e a SM revelou-se um indicador complementar mais importante para mostrar fatores externos como fogo.

Palavras-chave: Pastagem, Textura do solo; Suscetibilidade Magnética; Matéria orgânica; Krigagem.

ABSTRACT

A considerable portion of the Brazilian economy is fostered by Brazilian agricultural and cattle raising activities. Agricultural expansion in the biome Cerrado in recent decades has brought significant changes in land cover and use in this biome, favored by factors such as climate and relief. With government incentives such as the agricultural expansion policy, the state of Goiás has undergone these changes intensively and extensively. The objective of the present work was to investigate the relationship between mineral and organic attributes of the soil in a place of cattle-raising activity in a rural property located in the municipality of Sanclerlândia, GO, for potential use as indicators of soil management. Fifteen soil samples were collected in three depths (0-5 cm, 5-10 cm, and 10-20 cm). The samples were submitted to texture, magnetic susceptibility and soil organic matter analysis. The average value of clay in the 0-20 cm range was 41%, that of the low frequency (LF) of magnetic susceptibility (MS) was 255, 264 and 284 $10^{-6}m^3kg^{-1}$ respectively for the depths 0-5 cm, 5-10 cm and 10-20 cm. With lower values, the SM of the Frequency Dependent Susceptibility (FDS) had average values equal to 4 $10^{-6}m^3kg^{-1}$ for 0-5 cm, 4 $10^{-6}m^3kg^{-1}$ for 5-10 cm and 5 $10^{-6}m^3kg^{-1}$ for 10-20 cm. As for soil organic matter (SOM) 0.5 g, 0.5 g, 0.4 g averaged in the same order of depth as mentioned above. The value of standard deviation in texture was equal to 8.2. At depths 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm the standard deviation values in SM for LF were equal to 214, 244 and 258 $10^{-6}m^3kg^{-1}$. Also in the same depth order, the standard deviation of SM in FDS were 3 $10^{-6}m^3kg^{-1}$, 3 $10^{-6}m^3kg^{-1}$, 3 $10^{-6}m^3kg^{-1}$. Finally, the standard deviation of SOM were 0.2 g, 0.2 g, and 0.1 g for same order of depth presented. The R^2 value between LF and clay was 0.35, showing a medium relationship between the two. The textural class of the soil was more representative for sandy clay in the central portion of the pasture. With high values for SM, in general, the kriging maps for showed homogeneity among the close values among the depths. The MOS showed average decreasing as depth increased. The texture and SOM indicators showed good indicators of soil quality and the SM proved to be a more important complementary indicator to show external factors such as fire.

Keywords: Pasture; Soil texture; Magnetic susceptibility; Organic matter; Kriging.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo na fazenda Brasil Central no município de Sanclerlândia, GO.....	22
Figura 2: Mapa de solos da área de estudo na fazenda Brasil Central no município de Sanclerlândia, GO.	Error! Bookmark not defined.
Figura 3: Mapa de relevo da área de estudo na fazenda Brasil Central no município de Sanclerlândia, GO.....	Error! Bookmark not defined.
Figura 4: Mapa de elevação da área de estudo no estudo na fazenda Brasil Central no município de Sanclerlândia, GO.....	24
Figura 5: Mapa de pontos amostrais da área de estudo na fazenda Brasil Central no município de Sanclerlândia, GO.....	Error! Bookmark not defined.
Figura 6: Material utilizado na coleta de solo uma cavadeira de duas bocas (a) e saco hermético (b) para armazenar material até que fosse levado ao laboratório para análise das profundidades coletadas (c).....	26
Figura 6: Mapa de textura para coleta de solo de pastagem na profundidade 0-20 cm em fazenda no município de Sanclerlândia, GO, tendo argila, argilo arenosa e franco argilo arenosa como classes texturais representadas no local.....	31
Figura 7: Resumo de processo desde coleta de material em campo usando cavadeira de duas para coleta de amostras 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, que passaram por análise de textura, suscetibilidade magnética e matéria orgânica do solo.....	27
Figura 8: Mapa de textura para coleta de solo de pastagem na profundidade 0-20 cm em fazenda no município de Sanclerlândia, GO, tendo argila, argilo arenosa e franco argilo arenosa como classes texturais representadas no local.....	30
Figura 9: Regressões Lineares com os Valores de Suscetibilidade Magnética em área de estudo em Baixa Frequência (BF) e porcentagem de argila (a) e Diferença da Frequência (SDF) com porcentagem de argila (b).....	32
Figura 10: Mapa de Krigagem da Suscetibilidade Magnética para profundidade 0-5 cm com cicatriz de foto no ano de 1986 em fazenda no município de Sanclerlândia, GO.....	33
Figura 11: Mapa de Krigagem da Suscetibilidade Magnética para profundidade 5-10 cm com cicatriz de foto no ano de 1986 em fazenda no município de Sanclerlândia, GO.....	33

Figura 12: Mapa de Krigagem da Suscetibilidade Magnética para profundidade 10-20 cm com cicatriz de foto no ano de 1986 em fazenda no município de Sanclerlândia, GO.....	34
Figura 13: Semivariograma de Krigagem Ordinária da Suscetibilidade Magnética para as profundidades 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm respectivamente dados pelo ArcGis.....	34
Figura 14: Mapa de Krigagem da Matéria Orgânica para profundidade 0-5 cm em fazenda no município de Sanclerlândia, GO.....	35
Figura 15: Mapa de Krigagem da Matéria Orgânica para profundidade 5-10 cm em fazenda no município de Sanclerlândia, GO.....	36
Figura 16: Mapa de Krigagem da Matéria Orgânica para profundidade 10-20 cm em fazenda no município de Sanclerlândia, GO.....	36
Figura 17: Semivariograma de Krigagem Ordinária da Matéria Orgânica para as profundidades 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm respectivamente dados pelo ArcGis.....	37
Figura 18: Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis do solo do intervalo de profundidade de 0-20 cm. Variáveis: Textura representadas por porcentagem de argila, Baixa Frequência da Suscetibilidade Magnética ($10^{-6}m^3kg^{-1}$) e Matéria Orgânica do Solo (g).....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados médias de análise da textura do solo... **Error! Bookmark not defined.**9

Tabela 2: Valores de mínimo e máximo para valores de Suscetibilidade Magnética**Error!**
Bookmark not defined.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BF	Baixa Frequência
GEE	Gases de Efeito Estufa
MOS	Matéria Orgânica do Solo
PCA	Análise de Componentes Principais
SDF	Suscetibilidade Dependente da Frequência
SM	Suscetibilidade Magnética

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	OBJETIVO.....	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	BIOMA CERRADO E O EFEITO DE MUDANÇA NO USO DA TERRA.....	17
2.2	SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA.....	18
2.3	MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO.....	19
2.4	KRIGAGEM, MÉTODO GEOESTATÍSTICO.....	21
3	MATERIAS E MÉTODOS.....	21
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	21
3.2	COLETA DE DADOS	24
3.3	ANÁLISES LABORATORIAS.....	26
3.4	ANÁLISE GEOESTATÍSTICA.....	27
3.4.1	ESPACIALIZAÇÃO TEXTURA.....	28
3.4.2	ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA.....	28
3.4.3	ANÁLISE DE MATÉRIA ORGÂNICA.....	28
4	RESULTADOS.....	28
4.1	TEXTURA DO SOLO.....	29
4.2	SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA DO SOLO.....	31
4.3	MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO.....	35
4.4	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA).....	37
5	DISCUSSÃO.....	38
6	CONCLUSÃO.....	41
7	REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

As mudanças ambientais são consequências atuais das transformações em todas as esferas terrestres: atmosfera, litosfera, hidrosfera e biosfera. São processos que por vezes são naturais, mas que têm fatores intensificados pela atividade antrópica. Há a perda de habitat por conversão de áreas naturais em fazendas e centros residenciais, a fragmentação de ecossistemas para implementação de atividades agrícolas, transporte e indústrias, e que eventualmente acabam intensificando o efeito de borda, dado pela criação de fronteiras entre ecossistemas naturais e antropizados. A consequência disso está nas modificações dos habitats naturais e seminaturais que interagem para afetar processos ambientais, perda de biodiversidade e perda de serviços ecossistêmicos (Bustamante, 2021).

O Brasil é o quinto maior país do mundo e, segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), é o país com a maior biodiversidade do planeta. O país está inserido em diversas zonas climáticas diferentes, fato esse que beneficia tamanha riqueza e variedade natural. Em terras brasileiras é possível encontrar a Floresta Amazônica, a maior floresta tropical úmida do mundo, a maior planície inundável que é o Pantanal, local de savanas e bosques inseridos no Cerrado, a Caatinga que é formada por floresta semiáridas, os Pampas e a Mata Atlântica, floresta tropical pluvial (MMA, *[s.d.]*).

O Brasil tem o setor primário como uma das partes que compõe a economia. Este é o setor que explora o meio ambiente para produzir seus itens já que extrai os recursos advindos da natureza (Magalhães, 2019). Entre essas atividades econômicas de recursos naturais encontramos a extração do petróleo e a pecuária, a qual tem relevante participação no Produto Interno Bruto do Agronegócio. Em 2011, as pastagens ocupavam no país cerca de 30% do território nacional (Sousa et. al, 2021), e em sua maioria estavam localizadas no Cerrado.

O Cerrado consiste no segundo maior bioma da América do Sul, com mais de 200 milhões de hectares, que correspondem a aproximadamente 22% do território brasileiro. Presente em mais de 12 estados é considerado uma das savanas de maior biodiversidade do planeta, com mais de 200 espécies de mamíferos, 800 espécies de aves e 1200 espécies de peixes (ICMBIO, 2021). Além disso, é um bioma fundamental para a manutenção do equilíbrio hidrológico do país, sendo o berço de rios que alimentam algumas das principais bacias hidrográficas nacionais – Rio Araguaia, Rio Tocantins, Rio São Francisco e Rio Paraguai são alguns exemplos. Haja visto tamanha biodiversidade, é possível afirmar que o Brasil tem responsabilidade mundial quanto ao assunto.

Apesar da sua relevância ambiental, o Cerrado vem sendo alvo de acelerada conversão da vegetação natural em áreas agropastoris – mais de 80 milhões de hectares já foram transformados em pastagens ou deram espaço a atividades de agricultura, o que corresponde a mais de cinco vezes a área do bioma Pantanal. Essa mudança brusca e muitas vezes desordenada da ocupação do solo traz consigo diversos impactos ambientais: redução da biodiversidade, assoreamento de cursos d'água, fragmentação de áreas de vegetação natural, e perda da qualidade do solo (Rocha, 2011).

No estado do Goiás, único estado da federação totalmente inserido no Cerrado, mais de 60% da vegetação natural foi substituída pela agropecuária. O potencial hídrico, associado a relevos suaves e solos bem desenvolvidos, favoreceram a ocupação da região a partir da década de 70, que se transformou em um dos grandes celeiros agrícolas do país (Ferreira et al., 2009). Os prejuízos ambientais acima mencionados se estabelecem também para a região, que ainda carece de estudos que avaliem os impactos da rápida mudança de uso e ocupação do solo, principalmente para o meio físico, onde o solo é um dos mais afetados pelas atividades agropastoris (Rocha, 2011).

Nesse sentido, a fim de compreender a estrutura do solo em uma região, é importante caracterizar os atributos de tal solo. Para este estudo, os atributos selecionados foram: textura, suscetibilidade magnética (SM) e matéria orgânica do solo (MOS). Segundo Santos *et al.* (2018), a textura tem bastante influência no comportamento físico-hídrico e químico do solo, utilizar esse atributo pode ser uma boa ferramenta para compreender os impactos dos diferentes manejos do solo. A textura é expressa pelas frações minerais do solo (areia, silte e argila), a qual tem relação com a SM e a MOS. A SM é um atributo de rápida e fácil medição e é um bom indicador de áreas com “diferentes potenciais produtivos e qualitativos”, conforme descreve Pollo (2013), já que por meio dela é possível avaliar o grau de atração magnética do meio. Essa atração é dada por minerais ferromagnéticos. Há uma tendência em solos com baixos valores de ferro serem solos com baixo teor de MOS. A MOS está relacionada com a qualidade do solo, pois influencia as propriedades do solo, além de atuar diretamente no ciclo do carbono (Cardoso, 2014).

Conforme relatado por Silva Junior (2012), alguns autores na literatura escreveram que há dependência espacial dos minerais da fração argila e que a paisagem é um fator influenciador na espacialização destes minerais. Para muitos desse autores, a krigagem ordinária é uma interessante ferramenta interpoladora, pois permite obter conhecimento de valores e/ou dados são desconhecidos dentro de um intervalo. Assim, por meio da krigagem, e considerando o solo

com variabilidade espacial, é possível usar essa ferramenta para melhor estudar o meio (Silva Junior, 2012).

Estudar atributos do solo e suas relações com indicadores de manejo do solo, possibilita sua caracterização, avaliação e acompanhamento de alterações de indicadores físicos como porosidade do solo por meio da textura e suscetibilidade magnética, indicadores biológicos por meio da matéria orgânica.

1.1 OBJETIVO

O objetivo de presente trabalho foi investigar a relação de atributos minerais e orgânicos do solo em local de atividade pecuária em propriedade rural localizada no município de Sanclerlândia – GO.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O BIOMA CERRADO E O EFEITO DE MUDANÇA NO USO DA TERRA

O Cerrado é um dos principais biomas no Brasil, atingindo cerca de 25% do território do país. A formação vegetal se estende por alguns estados, principalmente nos do Centro-Oeste, incluindo o Goiás (ICMBIO, [s.d.]). Por ser um bioma extenso, há diversas fitofisionomias, variados tipos de solos e rica diversidade de fauna e flora. O solo predominante no bioma é o latossolo, um tipo de solo bastante intemperizado (REATTO *et al.* 1998), com pouca reserva de nutrientes e de boa permeabilidade, podendo conter ampla variedade de porcentagem de argila (entre 15% e 80%) (SOUSA & LOBATO, 2021). De forma geral, os solos do bioma são porosos e a textura permeia entre níveis médios e altos de argila. Como são solos mais antigos, possuem altos teores de ferro e alumínio, pH ácido e são pouco fértil (Costa & Borges, [s.d.]).

Na década de 50, quando a capital Brasília foi criada e com a política federal de expansão agrícola, ocorreu uma rápida e desordenada ocupação bioma na região (Fernandes & Pessoa, 2011). Por ser um local de topografia plana e de estações bem definidas dando estabilidade para o clima, o Cerrado se tornou um local favorável para atividades agropecuárias,

as quais, para Santos (2018) são as “principais indutores de conversão das coberturas de Cerrado” (STRASSBURG et al., 2017; SANO et al., 2019).

Em Goiás, os cultivos que se destacam são os de soja, milho e cana-de-açúcar, sendo que a soja teve maior valor de produção atingindo R\$ 34.547.500. Em 2019, 11,4% do Produto Interno Bruto (PIB) goiano foi composto por atividade de agropecuária. Apesar de não ser a principal atividade na composição, a agropecuária é base para a agroindústria (IMB, [s.d.]). Em um panorama nacional, segundo dados da Confederação da Agricultura (CNA), o setor teve 26,6% de participação da soma de todos os bens e serviço produzidos no Brasil (SENAS, 2021).

Apesar da importante participação na economia do país, a mudança do bioma de áreas naturais para área agrícolas e pastagens é causa para uma série de impactos ambientais negativos como erosão do solo, perda e fragmentação de habitats, redução da biodiversidade e emissão de gases de efeito estufa (GEE) (Souza apud ALHO et al., 2020). De forma macro, Keenoret al., (2021) apontaram que a agricultura, a silvicultura e a mudança no uso da terra são anualmente responsáveis por 18-24% do total de emissões antrópicas GEE. Por ser o segundo maior bioma do Brasil - e a savana mais diversa do mundo, o bioma Cerrado foi classificado como um *hotspot* ou seja, uma área com relativa biodiversidade, com diversas espécies endêmicas, e que tem alto nível de ameaça (SANTOS, 20--). Uma evidência disso é a baixa porcentagem de áreas protegidas que o bioma possui, apenas 2,2%. Nas últimas décadas, o bioma perdeu 50% de sua vegetação, principalmente para a agropecuária, tendo a soja como protagonista nesse processo (KLINK e MACHADO, 2005, WWF 2019). A retirada da cobertura vegetal aumenta a erosão, a qual pode alterar a porcentagem de argila que é responsável por propriedades como resistência do solo e capacidade de troca de cátions (ARQUITETURA, 2016).

2.2 SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA

Condição importante na formação dos solos, o intemperismo, processo biogeoquímico que atua na fusão e na desagregação de minerais, é notório em qualquer lugar do mundo. Nesse processo, rochas e minerais primários são fragmentados tendo então suas características física e químicas modificadas. A umidade, o relevo e outros elementos são atuantes nesse processo (BRADY e WEIL, 2013).

O clima é o protagonista na formação de minerais secundários (BRADY e WEIL, 2013), os quais são “resultante da decomposição parcial de um outro mineral, tendo estrutura essencialmente herdada ou formada a partir da solubilização de outros minerais.” (OLIVEIRA e MANZUAR, 2002, p.1). Os minerais secundários compõem vários grupos oriundos de uma

pequena quantidade de grupos de minerais primários, os quais por si só são os minerais presentes na origem por meio de rochas magmáticas ou metamórficas e são mais resistentes (OLIVEIRA e MANZUAR, 2002). No caso dos latossolos, solos predominantes no Cerrado, grande parte dos minerais são secundários (REATTO et. al apud Costa, 1998) e são encontrados na forma de silicatos ou na forma de óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) (REATTO *et al.* 1998).

Como cada mineral passa por um processo de formação diferente, sendo formado pela interação de sílica com poucas partículas de ferro ou com alumínio, dando origem a filossilicatos ou óxidos, cada um terá um comportamento diferente no solo (Neto apud Brady e Weil, 2002 p. 20), de acordo com o metal que este faz a ligação e demais grupos ligantes disponíveis para que interação no meio ocorra (Nogueira, 2022).

Os fatores anteriormente mencionados como o clima, podem influenciar a SM (Peluco, 2016). A SM pode ser definida como a intensidade de magnetização (Luque, 2016, p. 11 apud Peluco, 2016) de um material em retorno ao campo magnético aplicado. Assim, quando um campo magnético for aplicado em determinado material, o quanto, em termos de intensidade, este se modifica por causa da “magnetização resultante do momento de dipolo molecular” (CARNEIRO, TOUSO E BAFFA, 2003).

O efeito desse campo aplicado é a translação e rotação dos elétrons presentes em alguns minerais encontrados no meio como solos. Há cinco comportamentos magnéticos, sendo que os materiais que mais têm ferro na composição, são os que têm maior capacidade magnética, haja visto que o ferro tem maior potencial de magnetismo (Nogueira apud Ramos, 2015 p. 20-21).

Além disso, conforme escreve Blake et al. (apud Longworth et al., 1979; Rummery et al., 1979; Oldfield et al., 1981), fogo que elevam temperaturas do solo acima de 400°C em graus podem, junto com o agente redutor como matéria orgânica ou outro, produzir consideráveis quantidades de minerais secundários magnéticos. Entre os seus benefícios, o uso da SM nos estudos de solo é uma forma de melhor entender a evolução do meio, desde sua origem até influências climáticas (Nogueira apud Leocoanet, 2022 p. 21).

2.3 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Em 1941, Hans Jenny descreveu a formação do solo como a interação entre clima, organismos, relevo, material parental e tempo (Mendonça-Santos e Santos, 2003). Por meio de todos esses processos e interações, como a relação entre material parental e a textura e a

influência do clima no intemperismo, a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) será definida. A matéria orgânica do solo é resultado dos organismos vegetais, animais e microbianos e tem atuação direta nas propriedades químicas e físicas do solo já que estão relacionados (Nogueira apud Temme, 2022) pois os resíduos orgânicos são gradativamente transformados (SILVA, 2017). Logo, a dinâmica dos resíduos orgânicos no solo tem estreita relação com a taxa de mineralização dada pela disponibilidade e propriedade físico-químicas desses minerais (SILVA, 2017). Assim, é um atributo importante para fonte de nutrientes e no aumento da capacidade de troca e retenção de cátions no meio (REATTO *et al.* 1998). No caso dos latossolos, a mineralização da matéria orgânica é lenta (ALVES, 2015).

No processo de decomposição de plantas e animais, o carbono (C) retorna para a atmosfera como dióxido de carbono e elementos associados são disponibilizados para as plantas. Nesse processo, uma parcela do C é assimilado por microrganismos e outra parcela é convertida em húmus. Uma porção do húmus é mineralizado paralelamente, assim, a matéria orgânica é mantida em estado estacionário característico do solo (STEVENSON, 1994). Esse estado da matéria orgânica é fundamental para sustentabilidade do ecossistema, já que é o ponto de convergência entre a biosfera, geosfera, hidrosfera e atmosfera (NOVOTNY, CANELLAS e COLNAGO, 2022).

A quantidade de carbono presente no solo excede a quantidade de qualquer outro reservatório superficial (NOVOTNY, CANELLAS e COLNAGO, 2022). Em um comparativo, o C estocado no solo consegue ser até quatro vezes maior do que o estocada na biomassa. Os solos conseguem sequestrar o carbono de forma natural por meio do acúmulo de matéria orgânica morta e que está em decomposição sendo lentamente incorporada e armazenada. Assim, por meio do carbono lábil e carbono recalcitante, recursos para vida no solo e armazenamento do elemento no meio são possíveis. Os solos que possuem alta taxa de matéria orgânica tendem a apresentarem estrutura mais desenvolvida tendo maior coesão e agregação. A perda do carbono de solo por meio de mineralização matéria orgânica e/ou erosão causa redução no estoque de carbono do solo, aumentando então as concentrações atmosféricas de dióxido de carbono que afeta o planeta (KEENOR, RODRIGUES, *et al.*, 2021).

2.4 KRIGAGAGEM, MÉTODO GEOESTATÍSTICO

O avanço da tecnologia tem cada vez mais sido útil para estudar a variabilidade espacial do solo, que é dado pelos valores diferentes de distintos atributos relacionados à textura do solo, fertilidade e outros (MAPA, [s.d.]). Para tal, o método estatístico é uma boa

ferramenta. O método estatístico é a simplificação de procedimento ou método complexo a partir que sua análise quantitativa seja facilitada. Com isso, é possível utilizar os dados resultantes para analisar e estudar problemas propondo soluções e/ou intervenções (Neogrid, 2022).

É possível encontrar na literatura vários estudos utilizando a krigagem, principalmente a krigagem ordinária como metodologia de espacialização. Enquanto a krigagem simples “assume a função média do processo estocástica conhecida (Santos et. al, 2011), a krigagem ordinária não é enviesada pelos pontos que não foram amostrados, sendo uma média ponderadas pelos pesos da sua vizinhança (Silva Júnior et al., 2012). Sendo uma interpolação, isto é uma forma de aproximar valores de um conjunto, nesse caso, mesmo desconhecidos, a krigagem ordinária serve para encontrar os valores ponderados ótimos que vão diminuir a variância do erro de estimação de um intervalo (UNESP, [s.d.]). Com isso, podemos supor valores e assim entender comportamento de um meio.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi desenvolvido em uma fazenda localizada no município de Sanclerlândia no estado do Goiás (GO), região Centro-Oeste do Brasil, no bioma Cerrado. Adquirida em 1973, a fazenda é produtora de soja e gado de corte. A área de estudo possui aproximadamente 173 m² e está nas coordenadas 16°16'59''S e 50°15'26''W. A área é um local de pasto, usada pelo gado (Figura 1).

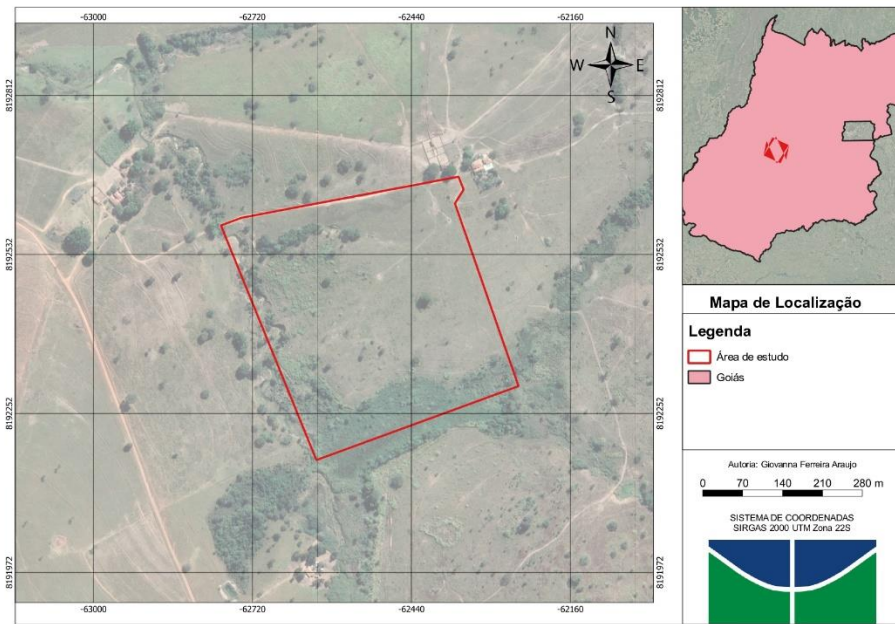


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo na fazenda Brasil Central no município de Sanclerlândia, GO.

O clima predominante da região é tropical sazonal caracterizado por estação de chuva, entre outubro e abril, e a estação de seca, de maio até setembro, com temperaturas médias anuais em torno de 23°C. O local tem altitude em torno de 600 m. Conforme o Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG) do estado do Goiás, o solo da área como uma associação em os solos, composta por Argissolos Vermelhos Estróficos, Latossolos Vermelhos Distróficos e Neossolos Litólicos Distróficos (Figura 2).

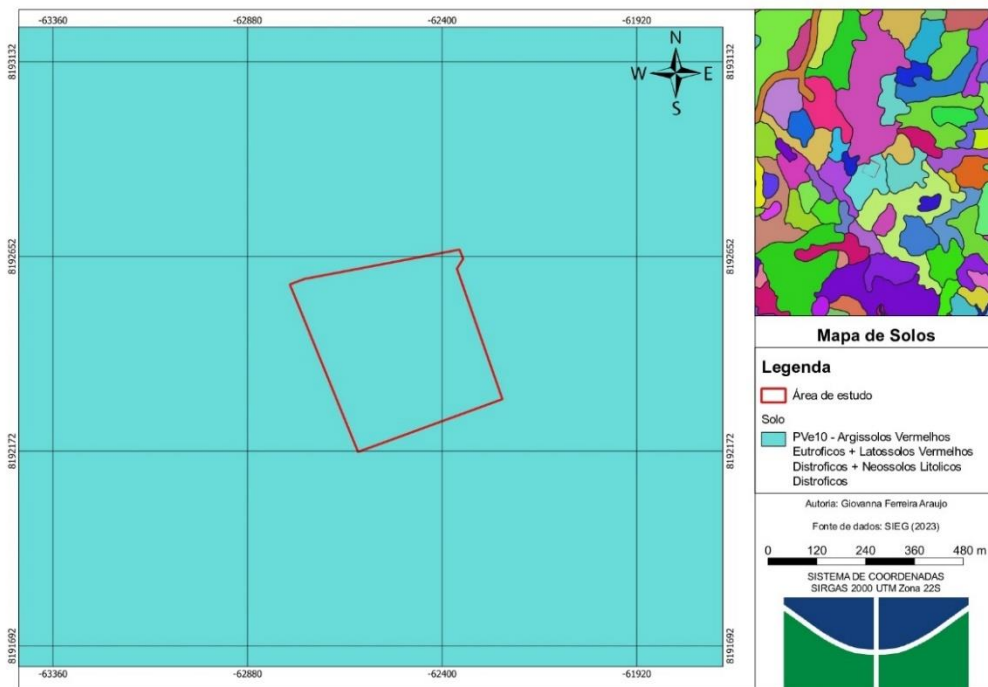


Figura 2: Mapa de solos da área de estudo na fazenda Brasil Central no município de Sanclerlândia, GO.

O relevo do local, possui entre 500 e 700 m de altitude e declividade entre 3-6% (Figura 3 e Figura 4). E, conforme Carta Geológica do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) de 2020, geologia do local é Metagranito Sanclerlândia composta por biotita tonalitos, metagranodioritos, metamonz ogranitos e metassienogranitos, localmente gnaissificados ou xistificados, de coloração cinza a rosada. Comum a presença de corpos protomilonitizados a ultramilonitizados. (U -Pb820±7Ma).

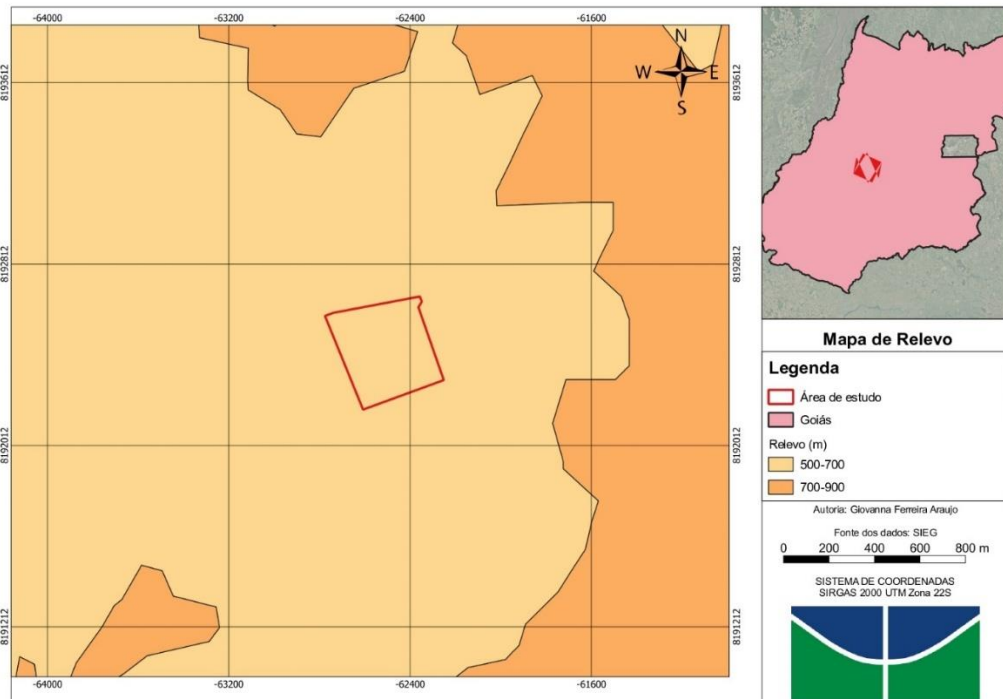


Figura 3. Mapa de relevo da área de estudo na fazenda Brasil Central no município de Sanclerlândia, GO.

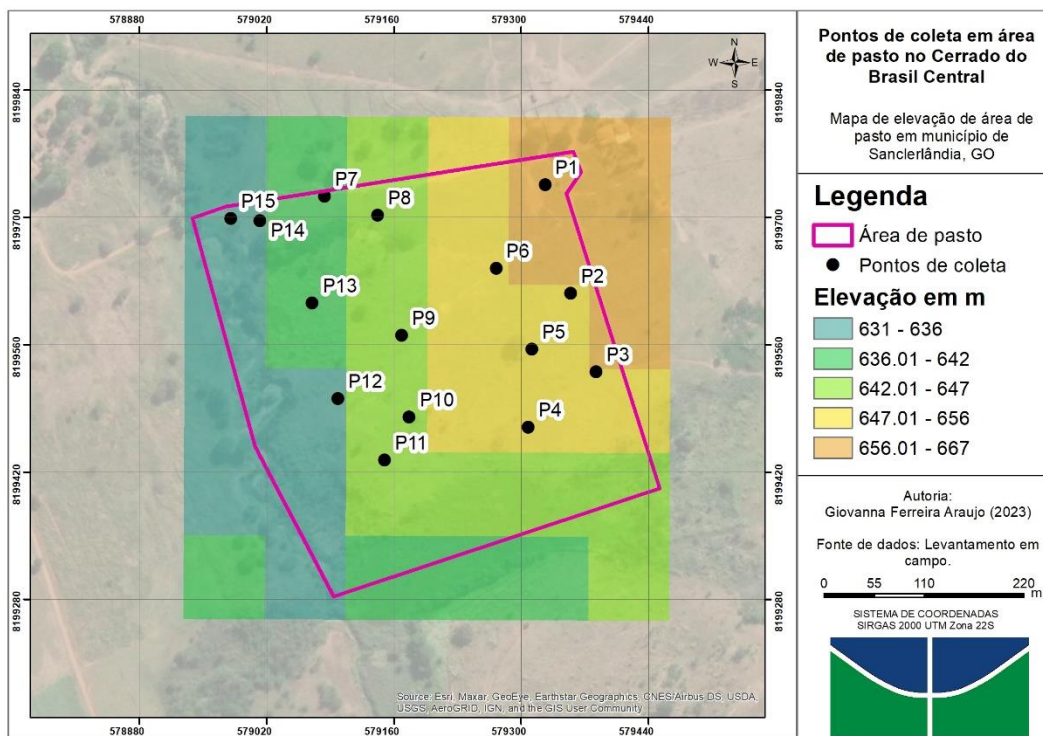


Figura 4. Mapa de elevação da área de estudo na fazenda Brasil Central no município de Sanclerlândia, GO.

3.2 COLETA DE DADOS

Para coleta de material a ser analisado, a área foi dividida em uma gleba: área de pastagem. . Por meio de zig-zag em toda área, conforme metodologia estatística de aleatoriedade, usando o Google Earth por meio de coordenadas, assim, foram estabelecidos 15 pontos no total em área de pastagem (Figura 5).

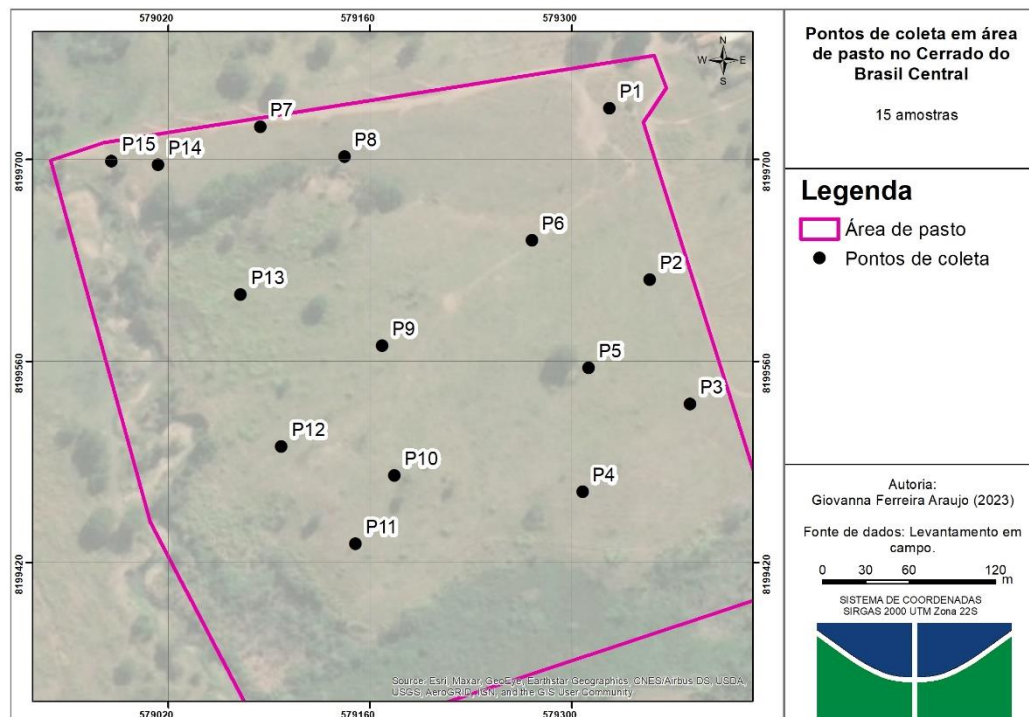


Figura 5: Mapa de pontos de amostra delimitados da área de estudo na fazenda Brasil Central no município de Sanclerlândia, GO.

Após remoção de serapilheira e da vegetação com cuidado para não retirar camada superficial, foram feitas amostragens em três profundidades em cada no ponto, usando uma cavadeira articulada (Figura 6a). A primeira amostragem foi feita a uma profundidade de 0-5 cm, a segunda de 5-10 cm e a terceira de 10-20 cm (Figura 6c), totalizando 45 amostras. Após cada coleta, o material foi depositado em um saco plástico hermético devidamente identificado com nome, profundidade e gleba e que ficaram abertos para redução da umidade até que fossem levadas ao laboratório (Figura 6b). Foi retirado em torno de 150 g de cada amostra. Em seguida, o material foi levado para o laboratório. A coleta foi realizada no início de março de 2022.

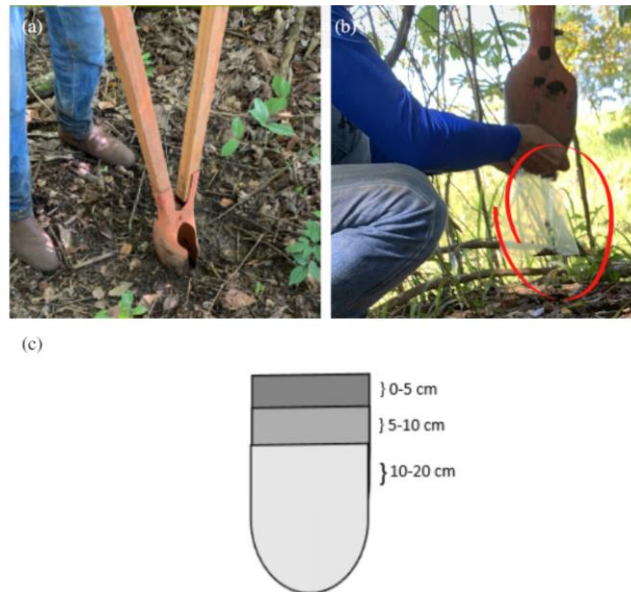


Figura 6. Coleta de solo nos pontos selecionados. Uso da cavadeira articulada (a) e saco hermético (b) para armazenar material até que fosse levado ao laboratório para análise das profundidades coletadas (c).

3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS

Em laboratório, para as primeiras análises as amostras de solo foram secas ao ar. Posteriormente, o material foi peneirado em peneira de malha 2 mm para remoção de raízes e pedras. Uma parcela desse solo foi separada para análise textural em um novo saco plástico hermético e o restante passou por triagem a fim de remover raízes finas e pedregulhos que passaram pela malha 2 mm. O material triado foi armazenado em pequeno saco plástico hermético conforme cada amostra.

Para a textura do solo, 50 gramas de amostra composta foi utilizada (12,5 g para a profundidade de 0-5 cm, 12,5 g para a profundidade 5-10 cm e 25 g para profundidade 10-20 cm já que essa última profundidade era maior que as outras e precisava ser igualmente representada). Para a análise textural do solo foi utilizado o método de Bouyuocos (1932) e para determinação da classificação textural do solo foi utilizado o diagrama triangular de Atterbeg.

Em seguida, a parcela de material triado foi usada para medir a suscetibilidade magnética. Foram pesadas 10g das 45 amostras e colocadas em tubos falcon de 50 ml. Depois, utilizando um susceptibilímetro de modelo MS2 *Magnetic Susceptibility Meter* (Bartington) foi medido valores em alta e baixa frequência, os quais foram anotados e depois uma média ponderada foi feita para cada ponto amostral tanto da alta frequência (AF) quanto da baixa

frequência (BFe foi calculada a diferença da frequência (*frequency dependent* -FD), dada pela seguinte equação:

$$\frac{BF - AF}{AF} \times 100$$

Calcular a Suscetibilidade Dependente da Frequência (SDF) permite detectar minerais ferromagnéticos ultrafinos. Todos esses valores foram inseridos em uma planilha no aplicativo Microsoft *Excel*[®]. Desses valores, e ainda no aplicativo, gráficos foram gerados.

Posteriormente, para a análise de matéria orgânica livre de cinzas, em um cadinho foram pesadas 10g de amostra triada e colocada na estufa a 60°C por 96 horas. Seguidamente, as amostras foram transferidas para o forno-mufla a 300°C por 3 horas. Após esperar resfriamento durante 1 hora, as amostras foram colocadas em dessecador e imediatamente depois passaram por nova pesagem. Por fim, foi calculado usando o Microsoft *Excel*[®] a diferença entre o peso inicial e o peso final para saber o teor de matéria orgânica presente naquela amostra. Na Figura 7 é possível ver um breve resumo de tal processo descrito.

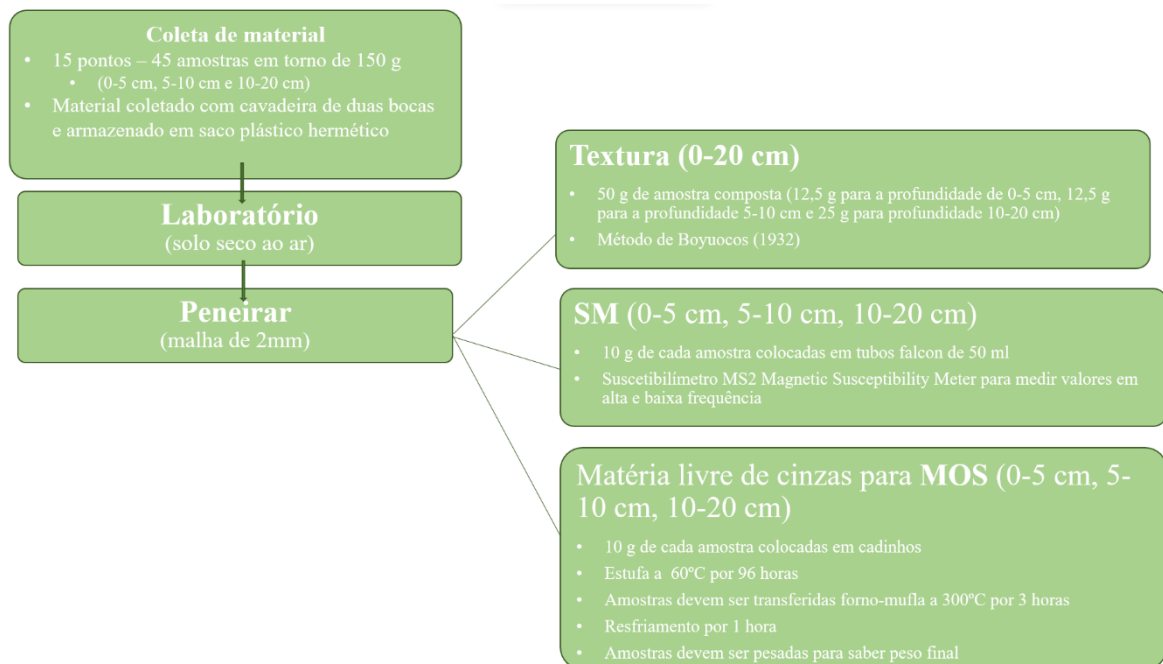


Figura 7. Resumo de processo desde coleta de material em campo usando cavadeira de duas bocas para coleta de amostras em profundidade de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, que passaram por análise de textura, suscetibilidade magnética e matéria orgânica do solo.

3.4 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

Buscando entender a caracterização de um pasto em fazenda no município de Goiás, foram construídos mapas de textura, suscetibilidade magnética e matéria orgânica tendo como base para tal os dados levantados em campo.

3.4.1 Espacialização de textura

Para essa etapa, foi elaborado mapa temático da área de estudo, com objetivo de tornar visual as diferentes classes texturas do solo e em quais regiões cada uma se encontrava. Esse mapa foi produzido pelo software de sistema de informação geográfica, ArcGis, versão 10.5. Após utilizar imagem de satélite do Google Earth para limitar a área de estudo, uma tabela do Excel com as equações, valores e classificação textural foi vinculada ao software. Por meio da classificação foi possível agrupar os pontos amostrais por meio de cores na simbologia das propriedades.

3.4.2 Análise de suscetibilidade magnética do solo

Para essa etapa, foram elaborados três mapas, um para cada profundidade (0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm). Utilizando dados obtidos em análise laboratorial em procedimento da suscetibilidade magnética presentes em planilha no Excel, foi possível vincular tal planilha com o software ArcGis. Os dados para geração dos mapas foram da BF pois é nessa frequência que todos os minerais de ferro que expressam algum magnetismo no solo já que aqui é medida as partículas ultrafinas. Após tal vinculação, foi utilizada ferramenta de krigagem ordinária para interpolação de dados. A krigagem ordinária foi escolhida por considerar que as médias locais não são em suma aproximadas da média das amostras. A fórmula utilizada é apresentada a seguir

$$Z * (x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

3.4.3 Análise de matéria orgânica do solo

Para essa etapa foi utilizado a mesma ferramenta usando na análise da suscetibilidade magnética. Nesse caso, a diferença se deu nos valores inseridos para cálculo da krigagem ordinária que foi o valor do peso em gramas da matéria orgânica do solo.

$$Z * (x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

4 RESULTADOS

Na Tabela 1, são apresentados os resultados estatísticos calculados para análises de textura, suscetibilidade magnética e matéria orgânica.

Tabela 1: Resultados estatísticos de análise de atributos do solo de área de estudo.

	Profundidade	unidade	0-5	5-10	10-20	0-20
Textura (Argila)	Média	%	--	--	--	41
	Desvio Padrão	%	--	--	--	8
	Coefficiente de variação	%	--	--	--	0,2
	Variação	%	--	--	--	67,0
	Valor mínimo	%	--	--	--	24
	Valor máximo	%	--	--	--	50
	Suscetibilidade Magnética (SM) Baixa Frequência (BF)	Média	10 ⁻⁶ m ³ kg ⁻¹	255	264	284
Desvio Padrão		10 ⁻⁶ m ³ kg ⁻¹	214	244	257	
Coefficiente de variação		%	80	90	90	
Variação		10 ⁻⁶ m ³ kg ⁻¹	45794	59493	66241	
Valor mínimo		10 ⁻⁶ m ³ kg ⁻¹	227	21	22	
Valor máximo		10 ⁻⁶ m ³ kg ⁻¹	792	936	939	
Suscetibilidade Magnética (SM) Suscetibilidade Dependente de Frequência (SDF)		Média	10 ⁻⁶ m ³ kg ⁻¹	4	4	5
	Desvio Padrão	10 ⁻⁶ m ³ kg ⁻¹	3	3	3,0	
	Coefficiente de variação	%	70	70	60	
	Variação	10 ⁻⁶ m ³ kg ⁻¹	7	8	9	
	Valor mínimo	10 ⁻⁶ m ³ kg ⁻¹	1	1	2	
	Valor máximo	10 ⁻⁶ m ³ kg ⁻¹	11	12	12	
	Matéria Orgânica do Solo (MOS)	Média	g	0,5	0,5	0,44
Desvio Padrão		g	0,2	0,2	0,1	
Coefficiente de variação		%	35	29	25	
Variação		g	0,03	0,02	0,01	
Valor mínimo		g	0,2	0,3	0,2	
Valor máximo		g	0,8	0,8	0,6	

Análise de atributos do solo de Argila em profundidade de 0-20 cm, Suscetibilidade Magnética (SM) na baixa frequência e Suscetibilidade Dependente da Frequência (SDF) para as profundidades 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm e a Matéria Orgânica do Solo (MOS) para profundidades 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm em área de estudo no município de Sanclerlândia, GO.

4.1 TEXTURA DO SOLO

Considerando o método de Bouyuocos, e analisando a Tabela 1 e 2, a média de argila na área em que o material foi coletado foi de 41%. A argila é uma importante textura para ser analisada para caracterizar o solo para fenômenos como capacidade de retenção de água, capacidade de troca catiônica. Entretanto, como visto na Tabela 2, a fração que mais teve representatividade no local de estudo foi a areia com 52%.

Tabela 2: Resultados estatísticos para classes de textura para profundidade 0-20 cm em área de pastagem em fazenda no município de Sanclerlândia, GO.

Local	Fração	Média (%)	Desvio-padrão	Variância
Pasto	Argila	41	8	67
	Silte	8	4	17
	Areia	52	11	118

Para obter os valores da média da classe foi utilizado o método de Bouyuocos (1932).

A classificação textural mais comum no local de estudo foi a Argilo arenosa. Essa classificação apareceu 7 vezes entre as 15 amostras coletadas, representando 47% dos pontos. A classe textura argilosa foi a segunda classe mais manifestada, por volta de 33% do total e a franco argilo arenosa teve apenas 20% de representatividade (Figura 6).

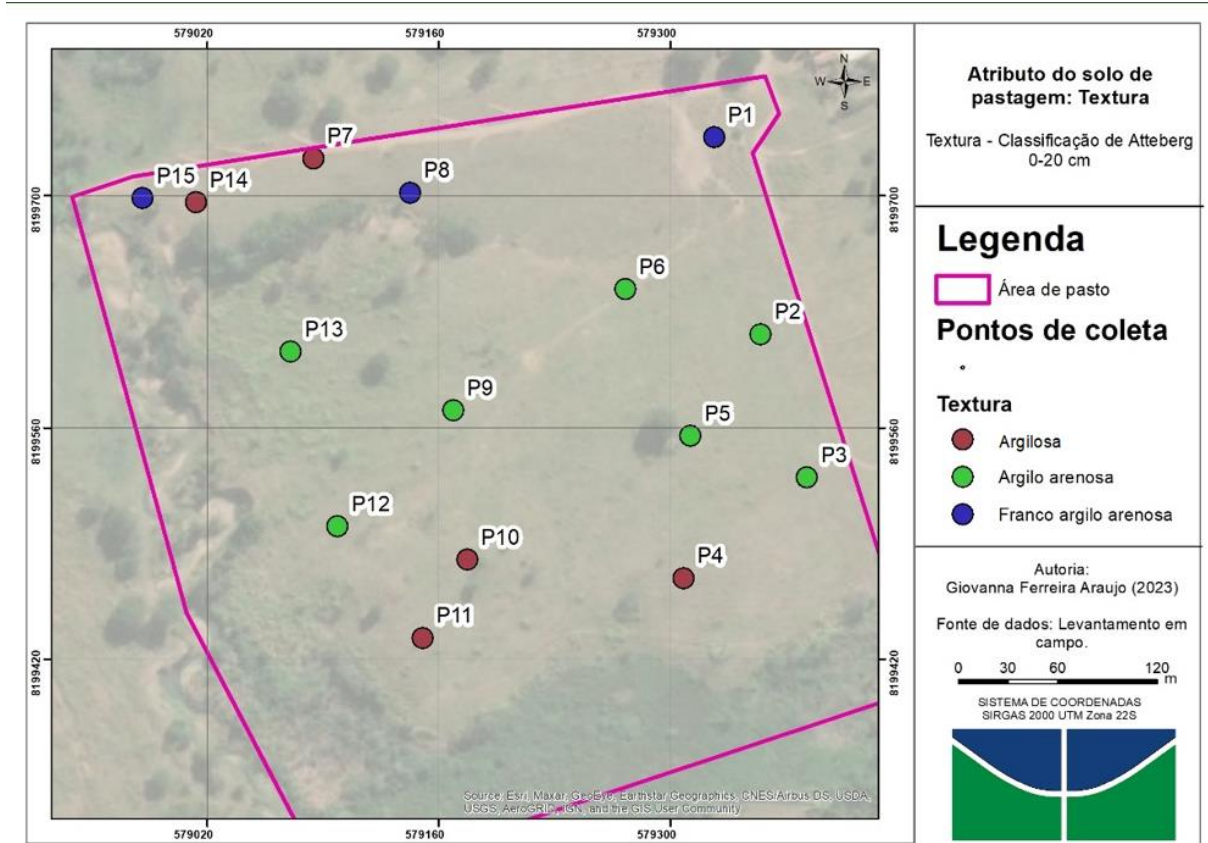


Figura 8: Mapa de textura para coleta de solo de pastagem na profundidade 0-20 cm em fazenda no município de Sanclerlândia, GO, tendo argila, argilo arenosa e franco argilo arenosa como classes texturais representadas no local.

4.2 SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA DO SOLO

Analisando os valores da BF apresentados na Tabela 1, vemos que os valores da média foram $255 \cdot 10^{-6} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, $264 \cdot 10^{-6} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, $284 \cdot 10^{-6} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, para profundidades 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm respectivamente. Assim a profundidade com maior média foi 10-20 cm, afinal nessa profundidade encontramos valores mínimo e máximo, 22 e $934 \cdot 10^{-6} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, respectivamente. O coeficiente de variação para todas as profundidades foi alto, sempre acima de 70%

Quando o parâmetro analisado é a SDF, a maior média também foi na profundidade 10-20 cm, sendo o valor igual a $4,6 \cdot 10^{-6} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$. De forma geral, os valores mínimos e máximos foram bem próximos, com diferenças decimais. Tanto na profundidade 0-5 cm quanto na 5-10 cm foram $1 \cdot 10^{-6} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ e o máximo foi da profundidade 10-20 cm com $12 \cdot 10^{-6} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$. Quando observamos o coeficiente de variação para a SDF, os valores ficaram acima da margem para ser considerado coeficiente de variação baixo, isto é, assim de 20%. Aqui o maior valor foi na profundidade de 0-5 cm com 35%.

A regressão linear mostrou as relações dos valores de BF e SDF com teores da argila (Figura 9). Os valores de BF evidenciaram maior porcentagem de variância do que SDF quando colocados a análise com a argila. O valor apresentado pela SDF é muito baixo mostrando que praticamente não houve relação com textura de argila do solo.

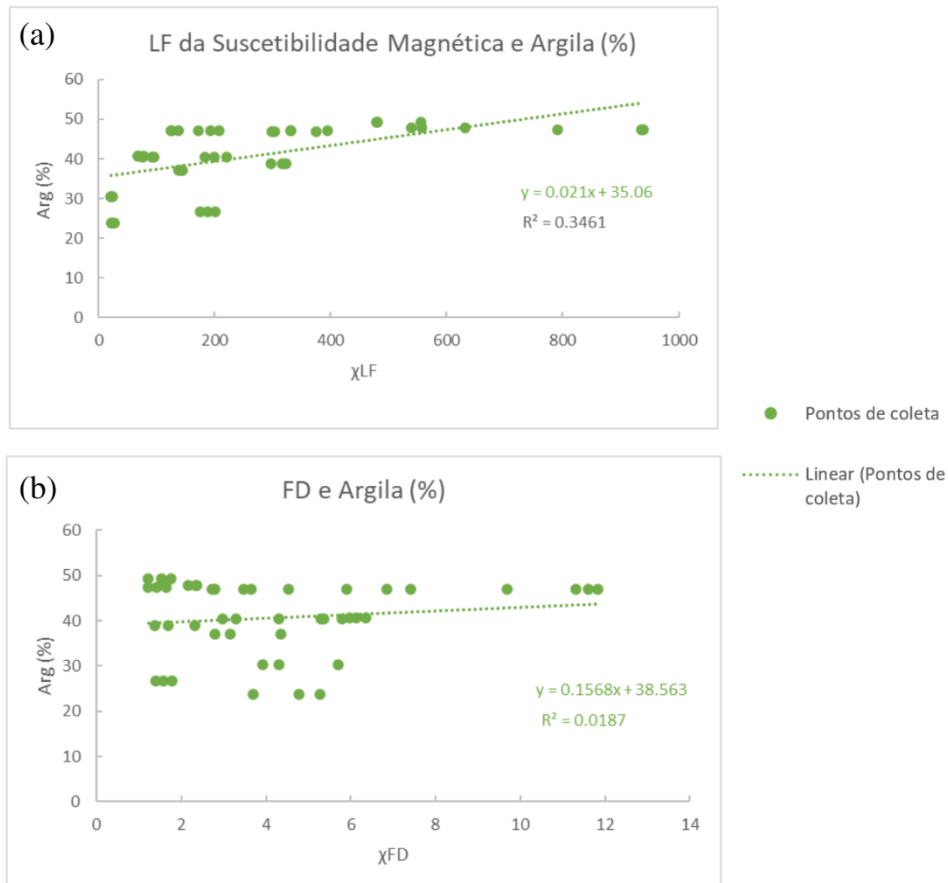


Figura 9: Regressões Lineares com os Valores de Suscetibilidade Magnética em área de estudo em Baixa Frequência (BF) e porcentagem de argila (a) e Diferença da Frequência (SDF) com porcentagem de argila (b).

Observando a Tabela 1 e os mapas de krigagem gerados, usando o ArcGis, é possível notar que os intervalos de cada profundidade diferem entre si haja visto que os valores da suscetibilidade magnéticas apresentado foi bem diferente. Na profundidade 0-5 cm, o intervalo foi de 22 e 792 $10^{-6}m^3kg^{-1}$ (Figura 10). sendo que o menor valor da BF foi 22 $10^{-6}m^3kg^{-1}$ e o maior 792 $10^{-6}m^3kg^{-1}$. Na profundidade 5-10 cm o intervalo ficou entre 21 e 936 $10^{-6}m^3kg^{-1}$ (Figura 11). Na profundidade de 10-20 cm, observa-se no mapa (Figura 12) que o intervalo foi de 22 e 939 $10^{-6}m^3kg^{-1}$. Em seguida, na Figura 13, é possível ver variabilidade espacial entre as amostras coletadas em cada profundidade.

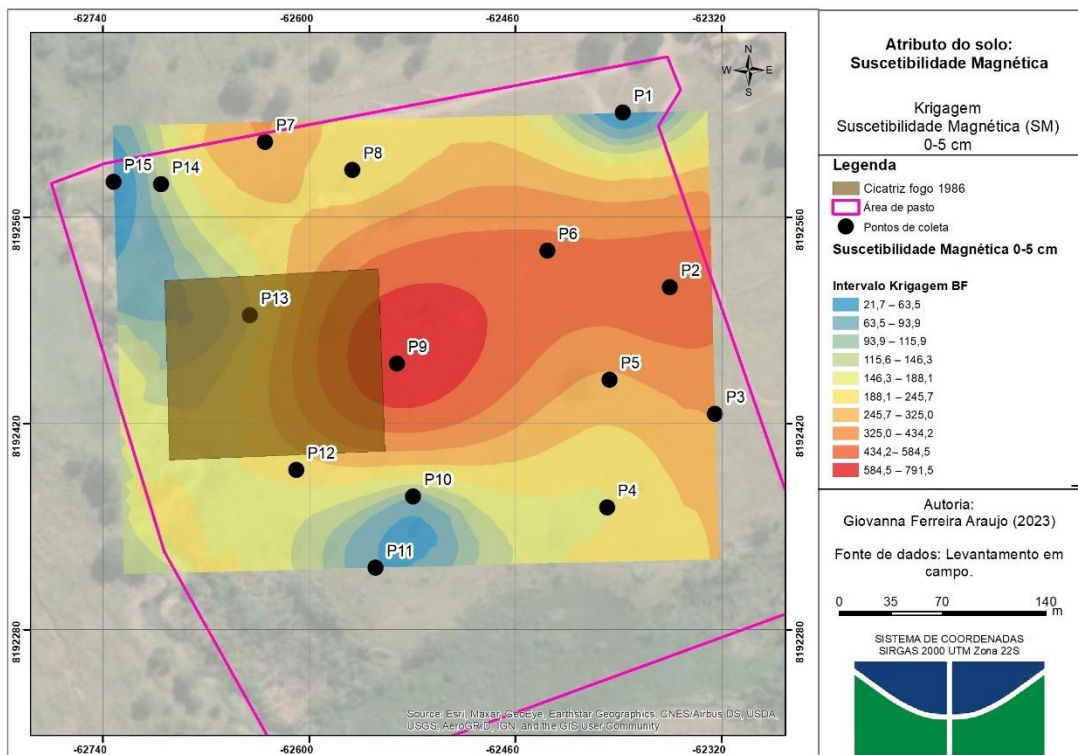


Figura 10: Mapa de Krigagem da Suscetibilidade Magnética para profundidade 0-5 cm com cicatriz de fogo no ano de 1986 em fazenda no município de Sanclerlândia, GO.

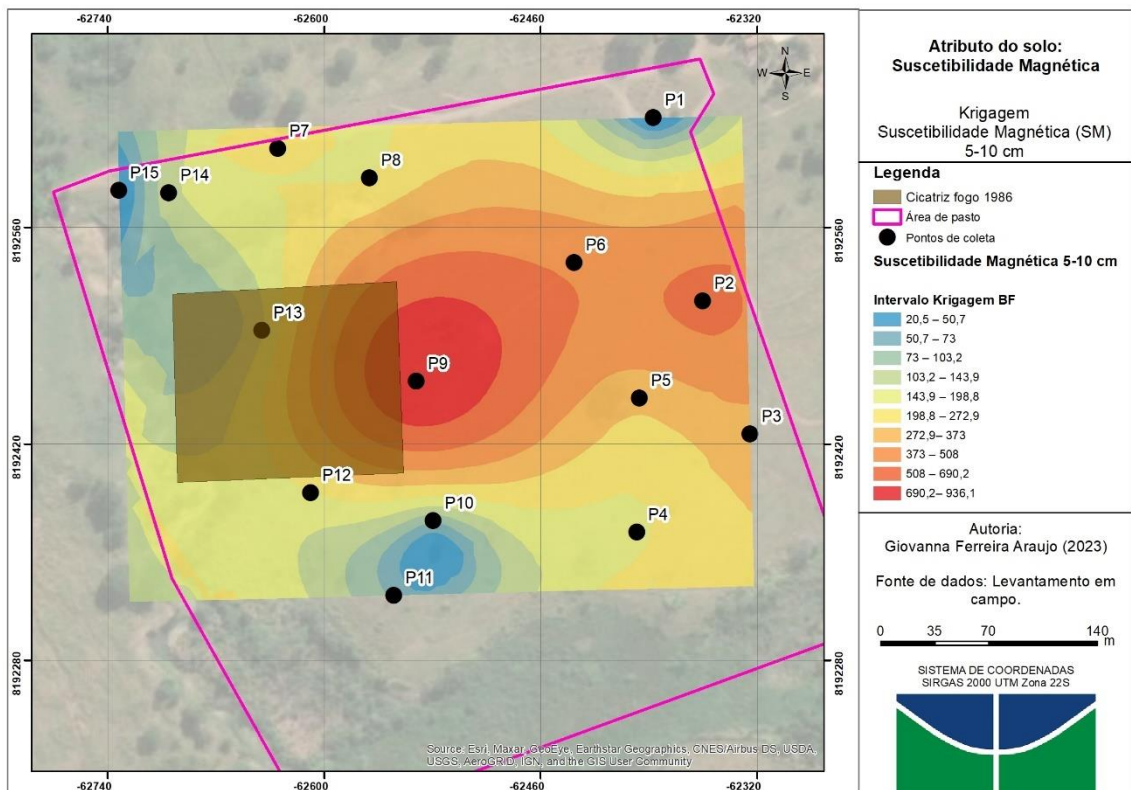


Figura 11: Mapa de Krigagem da Suscetibilidade Magnética para profundidade 5-10 cm com cicatriz de fogo no ano de 1986 em fazenda no município de Sanclerlândia, GO.

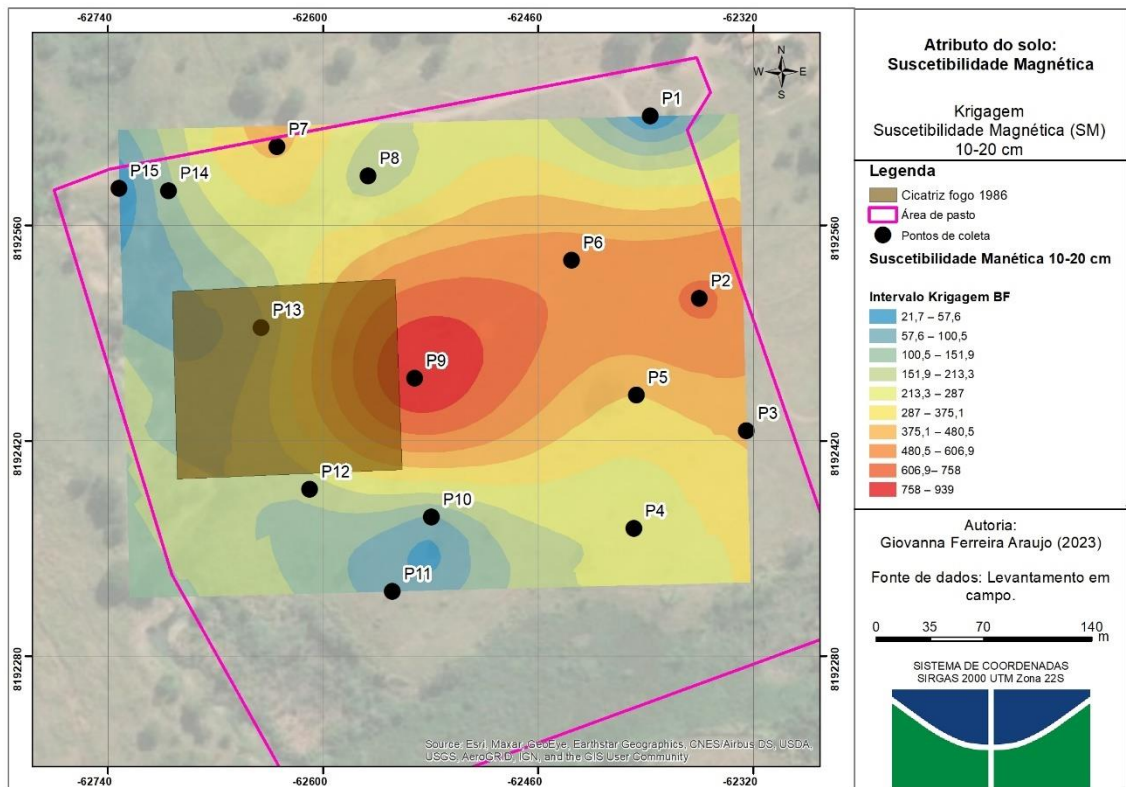


Figura 12: Mapa de Krigagem da Suscetibilidade Magnética para profundidade 10-20 cm com cicatriz de fogo no ano de 1986 em fazenda no município de Sanclerlândia, GO.

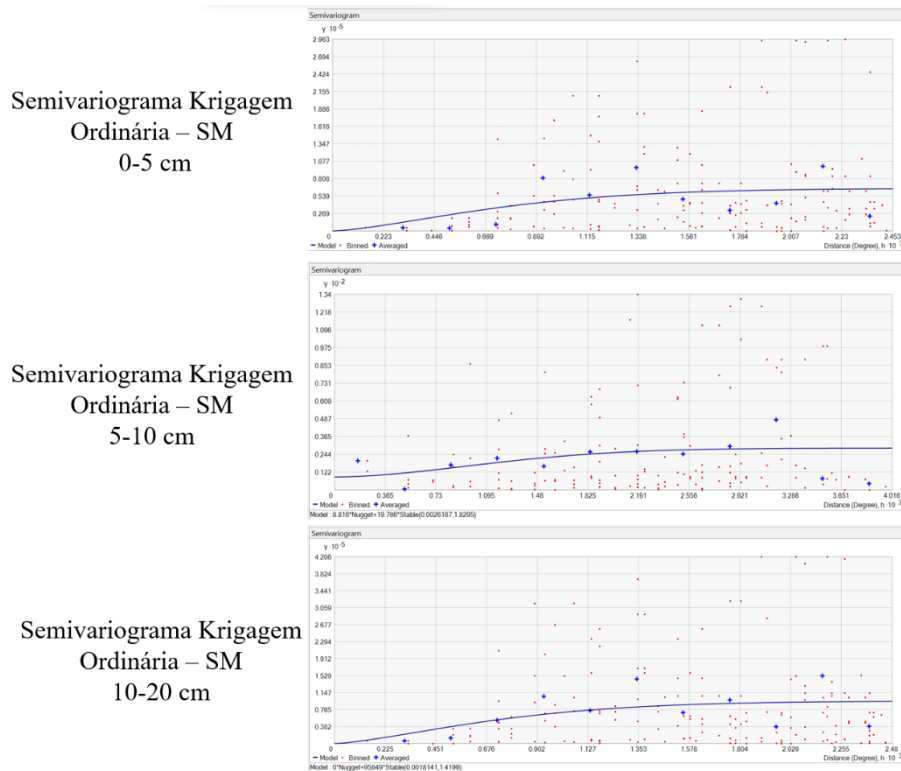


Figura 13: Semivariograma de Krigagem ordinária da Suscetibilidade Magnética para as profundidades 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm respectivamente dados pelo ArcGIS.

4.3 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Entre todas as amostras analisadas o valor mínimo foi de 0,15 g e o valor máximo foi 0,8 g, ambos na profundidade 0-5 cm, conforme Figura 14 apresenta. A média da matéria orgânica decresce conforme a profundidade aumenta sendo a primeira média 0,5 g (0-5 cm), seguida de 0,5 (5-10 cm) g e por fim 0,4 g (10-20 cm).

O intervalo da MO na profundidade 5-10 cm foi de 0,3 g e 0,8 g (Figura 15), tendo diferença desses valores igual a 0,5 g. A menor diferença entre os valores for da profundidade 10-20 cm com 0,4 g (Figura 16). Na Figura 17 é possível ver os semivariogramas da krigagem ordinária de cada profundidade.

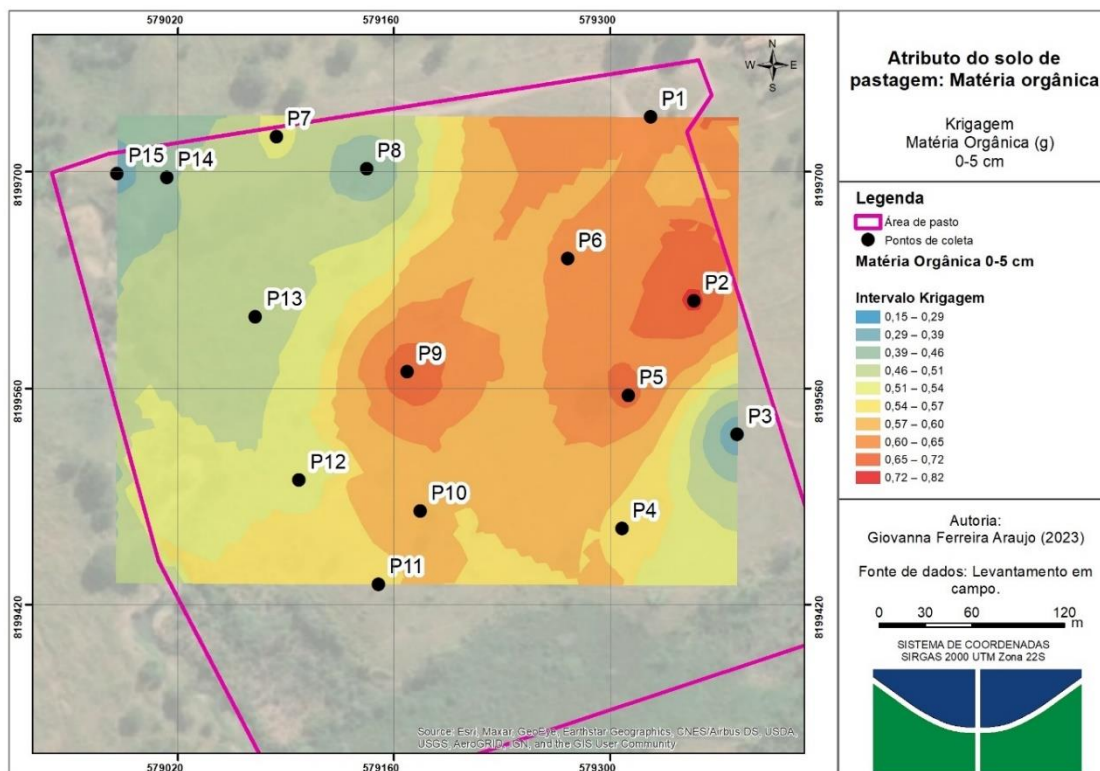


Figura 14: Mapa de Krigagem da Matéria Orgânica para profundidade 0-5 cm em fazenda no município de Sanclerlândia, GO.

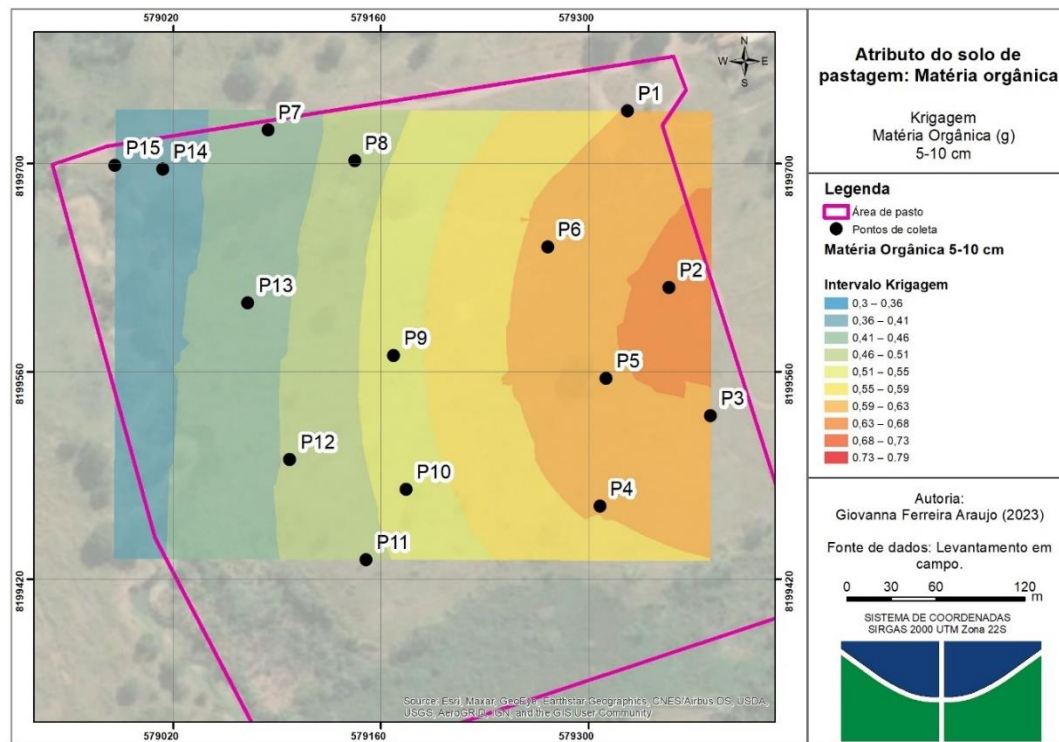


Figura 15: Mapa de Krigagem da Matéria Orgânica para profundidade 5-10 cm em fazenda no município de Sanclerlândia, GO.

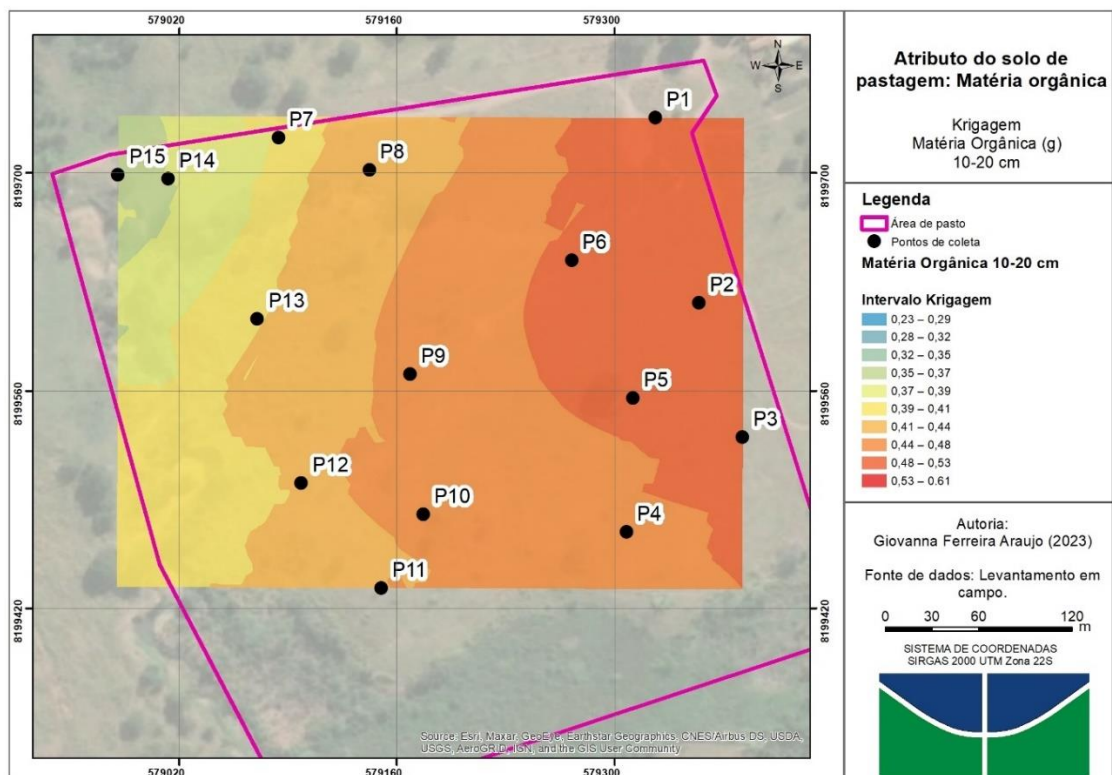
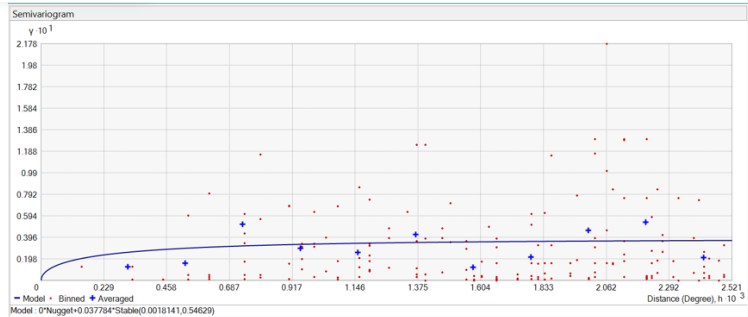
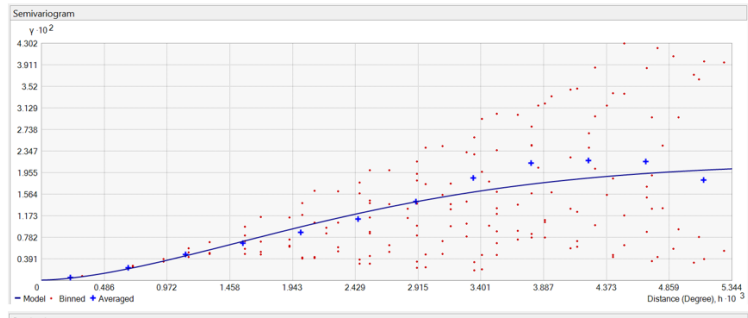


Figura 16: Mapa de Krigagem da Matéria Orgânica para profundidade 10-20 cm em fazenda no município de Sanclerlândia, GO.

Semivariograma Krigagem
Ordinária - MOS
0-5 cm



Semivariograma Krigagem
Ordinária - MOS
5-10 cm



Semivariograma Krigagem
Ordinária - MOS
10-20 cm

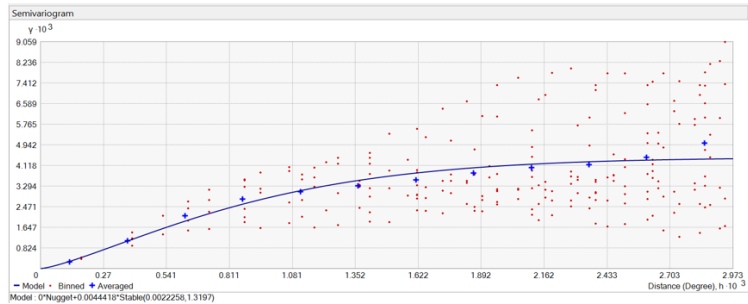


Figura 17: Semivariograma de Krigagem ordinária da Suscetibilidade Magnética para as profundidades 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm respectivamente dados pelo ArcGis.

4.4 ANÁLISE DA PCA

Considerando que a textura foi feita na profundidade 0-20 cm, para melhor analisar os dados de forma homogênea, foi feita um média dos valores da SM e MOS para profundidade 0-20 cm.

Análise de Componentes Principais (PCA) (89,4%)

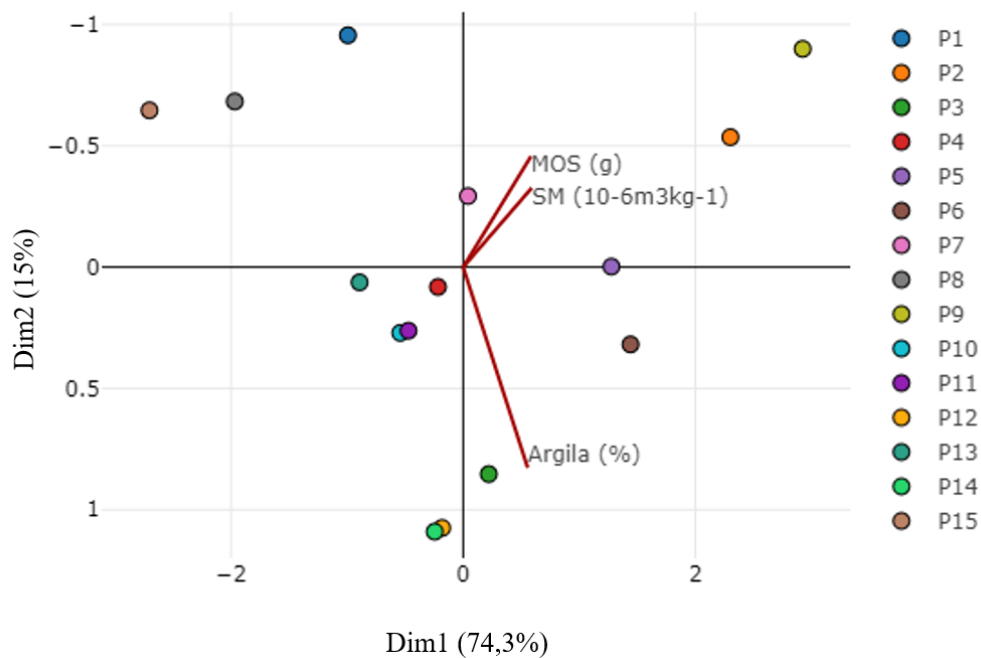


Figura 18. Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis do solo do intervalo de profundidade de 0-20 cm. Variáveis: Textura representadas por porcentagem de argila, Baixa Frequência da Suscetibilidade Magnética ($10^{-6}\text{m}^3\text{kg}^{-1}$) e Matéria Orgânica do Solo (g).

5 DISCUSSÃO

Os três atributos utilizados, SM, % argila e MOS são simples e fornecem subsídio para indicadores físicos, os quais são associados com o arranjo de partículas, bem como para indicadores biológicos, englobando boa parte dos indicadores de qualidade do solo.

Por meio da textura foi possível ver que o local tem textura argilo arenosa, indicador de solo favorável para produção de forragem e ajuda na estruturação do solo. A SM mais do que indicar a qualidade do solo, ajuda caracterizar o solo. Por fim, a MOS encontrada no solo da área estudada apresenta valores que podem indicar qualidade do solo haja visto que esse indicador é importante para disponibilidade de nutrientes, retenção de água e também auxilia na estrutura do solo como a textura.

Além da qualidade, saber sobre os indicadores de manejo do solo é importante para ter informação sobre produtividade do solo. É uma forma de conseguir monitorar conservação do solo, avaliar eficiência de práticas no meio e uma forma de otimizar o uso dos recursos.

Como visto, um dos solos diagnosticados na área de estudo foi o Latossolo. Esse solo, tem tendência a ter valores maiores de argila e argilominerais, classes compostas também pelos férricos (Nogueira apud Basile-Doelsch et al. 2005; Silva Junior et al. 2012). Os pontos com maiores elevação foram P1, P2, P3, P4, P5 e P6 como visto na Figura 4. Entretanto, os pontos que tiveram parcela de textura argilo arenosa mais representadas foram pontos mais na parte central da área (pontos P2, P3, P5, P6, P9, P12 e P13). Observando o comportamento da mudança de pontos com diferentes classes texturais, é possível analisar que esta mudança é dada conforme direção de locomoção é em direção as extremidades. Entretanto, visto que o relevo do local não é tão acentuado, e que área de estudo é pequena, pode ser que relevo não tenha tanto impacto. Logo, o relevo não é necessariamente um parâmetro que leva a tal condição.

A SM está relacionada com a quantidade de minerais ferromagnéticos, enquanto a textura retrata a proporção de partículas que compõe o solo. Relacionando esses dois indicadores, e observando os resultados da textura na Figura 8 e da SM, Figuras 10-12, observa-se que de forma geral, os maiores valores da SM apresentadas na krigagem para todas as profundidades estão em pontos que o solo foi classificado como 'argilo arenoso'. Assim, é possível ver que a presença de minerais ferromagnéticos pode ser afetada pelo tipo de textura, isto é, podem estar mais presentes em certos tamanhos de partículas. Ainda, a matéria orgânica apresentou maiores valores. Isso pode ser explicado pelo fato de que a argila favorece a agregação do solo, e esta agregação é beneficiada pela presença de matéria orgânica, conforme explica Silva et. al (2014). Entretanto, conforme PCA (Figura 18) realizada, os valores entre textura e SM, mostram correlação negativa. Isso porém pode ser dado pela ampla variação presente nas amostras dentro do atributos SM, desde pontos com 21 até $939 \cdot 10^{-6} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$.

Os valores da SM variaram bastante, como apresentado. Nas figuras dos mapas de krigagem que foram feitas é possível observar uma cicatriz de fogo de 1986 em um polígono. Considerando que por questões de escala diferentes entre o polígono e a área de pasto, é possível dizer que é exatamente próximo a este polígono que os valores da SM são maiores, para todas as profundidades. Segundo Blake et al. (2006), em solos queimados, os valores da SM aumentados com a diminuição do tamanho da partícula. Lembrando que a argila, como comentado anteriormente, é a classe com as menores partículas. Os autores ainda acrescentam que a presença de microagregados que foram modificados pelo fogo nas frações mais grossas tendem a apresentar valores maiores na análise magnética. Em seu artigo, Santos apud Le Borgne (2022, p. 124) afirma que a formação de minerais ferromagnéticos em uma área pode ser consequência de processos de incêndios. Além do mais, Santos (2013) complementou em sua tese de mestrado com dados (apud Rummery et al., 2022, p. 124) que após um fogo, os

óxidos de ferro formados podem persistem no solo por até mais de 103 anos. Assim, é possível dizer que o fogo foi um importante influenciador para os valores de SM fossem tão altos.

Ainda sobre o fogo, exceto na profundidade 5-10 cm da MOS, as outras duas profundidades também mostraram relação entre MOS e fogo, o qual altera estoques e fluxos de carbono conforme escreve Bustamante et al. (2011). Após eventos de fogo, o ciclo de retorno de MOS é interrompido, afetando negativamente na retenção de água, nos nutrientes e, assim, facilita o surgimento de plantas invasoras bem como a degradação das pastagens (Peron e Evangelista, 2004).

Conforme a Tabela 1, em que valores máximos e mínimos da SM foram apresentados, quando se trata da BF é possível observar que todas as profundidades tiveram alguma representação nos valores máximos e mínimo. Como são cálculos diferentes, é normal que os valores também sejam diferentes. Já os valores de SDF foram bem menores. Isso pode ser dado pois a SDF mede as partículas ultra finas e com isso evidencia que provavelmente não há intoxicação de metais pesados. Conforme visto na Figura 9, em que $R^2 = 0,35$ para relação entre BF e Argila, ainda que baixa haja relação entre esses dois parâmetros. Já para SDF e Argila, tal valor é bem baixo possivelmente evidenciando que não há tanta presença de partículas ultrafinas no meio.

A matéria orgânica do solo (MOS) tem influência positiva na densidade, porosidade, liberação e fixação de nutrientes (RIBEIRO e SOUZA, apud NASCIMENTO et al., 2018) dado que essa depende do material parental e da mineralogia do solo.

Fazendo um comparativo, observa-se que o valor da MOS foi decrescendo conforme a profundidade aumentava, isso também é observado no artigo de Rosa, Sano e Rosendo (2014) que concluíram que o teor de C decresce conforme profundidade aumenta.

A matéria orgânica é correlacionada como agregados do solo, os quais são dados pela textura. Essa relação pode ser dada pelas substâncias húmicas da MOS que são como cimento na estabilização do solo (Silva et al., 2014). Em outras palavras, a matéria orgânica vai atuar para unir partículas no solo e formam os agregados. O tipo de partícula é dado pela textura. Já a SM é uma característica dos minerais advindos de rochas e solos (Peluco et al., 2013), os quais por si são advindos da textura do solo. Assim, os óxidos de ferro tendem a proteger a matéria orgânica do solo e, de modo geral, os locais com mais argila tendem a proteger a MOS. Logo é possível ver a correlação positiva entre SM e MOS apontada na PCA (Figura 18), já que o ângulo entre esses dois atributos é pequeno.

O estudo de Gomes (2019) em área de pastagem no Cerrado evidenciou o que alguns trabalhos trouxeram e que propriedades do solo são modificadas quando áreas do bioma são

substituídas por pastagem com cultivos de gramíneas. Em estudo realizado em uma espécie de gramínea, a mesma encontrada no pasto desse presente estudo, destacou que altas pressões de pastejo com curtos períodos de descanso degradam pastagem em poucos anos. Quando as pressões forem menores, a pastagem persiste por mais tempo (Peron e Evangelista, 2004). Fazendo uma correlação com as ações antrópicas. Assim, os valores apresentados nos resultados poderiam ser outros se não houvesse o descanso do pasto no local. Para mais, o descanso do pasto também se faz importante para que não haja uma possível compactação dada pelo intenso pisoteio.

Quando se trata de parâmetros para caracterizar práticas de manejo de pasto, a cobertura vegetal morta pode ser utilizada e que o super pastejo tem sido prática comum. Ainda nesse estudo foi apontado que a redução da MOS pode levar a efeitos como degradação da pastagem dado que a fase de mineral dos solos em lugares tropicais não participa tanto para liberar nutrientes e nesses locais há formação de complexos entre fase mineral e nutrientes disponíveis. Com isso, a planta e solo competem pelo nutriente (Braz et al., 2004). Apesar disso, parâmetros químicos para a análise química são os melhores métodos para se recomendar a necessidade de corretivos em solo (Embrapa, 1982).

No geral a causa de degradação das pastagens é dada por uma série de eventos que juntos diminuem a capacidade de suporte já que forragem não conseguem manter número de animais no local. Um manejo de solo de pastagem inadequado pode reduzir produtividade e qualidade desta forragem. É preciso fazer adubação e controlar espécies invasoras de tal forma a acelerar processo de reestabelecimento do sistema radicular e os meios que planta tem que persistir (Townsend et al., 2012). Caso a planta não consiga persistir, o solo ficará sem cobertura, o que acarretará possível erosão, lixiviação e até na redução da biodiversidade

6 CONCLUSÃO

Os valores apresentados nas análises, em geral, foram mais altos na parte central da área de estudo, evidenciando que o relevo, nesse caso, não é necessariamente um parâmetro condicionante para tais características do solo. Além do que, de forma geral, a textura mostrou uma área de estudo homogênea.

A suscetibilidade magnética, mostrou-se parâmetro para caracterização da mineralogia do solo. Entretanto, a profundidade não recebe tanto destaque quando se trata da diferença entre uma e outra, mas que fatores externos como o fogo devem ser considerados para explicar valores tão altos da SM. Além do mais, para a MOS, valores apresentados evidenciaram que o

carbono decresce conforme profundidade aumenta. Assim, os valores apresentados estão de acordo com a literatura. Conforme PCA realizada, foi possível ver correlação positiva entre SM e MOS, e a textura, representada pela argila, teve correlação negativa.

Para entender manejo de solo, é preciso ter atributos físicos, biológicos e químicos. No caso desse estudo faltou um indicador químico, logo ficando incompleto. Entretanto, os outros atributos utilizados mostraram-se precisos, simples e de fácil medida.

7 REFERÊNCIAS

ALVES, R. Carbono no solo e sua relação com a paisagem no Alto São Bartolomeu, região de Cerrado do Brasil Central, Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

ARAÚJO, E. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, Guarapuava-PR, v. 5, n.1, p. 187-206, 2012.

ARQUITETURA e Propriedades Físicas do Solo. (2016). [Material escrito de apoio à disciplina de Física do Solo, lecionada na USP]. https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/917327/mod_resource/content/2/Apostila%20-%20Arquitetura%20e%20Propriedades%20F%C3%ADscas%20do%20Solo.pdf

BERNDT, A. “É possível reter carbono no solo através das raízes das pastagens”, afirma Embrapa, Entrevista concedida a Michelle Jardim, Planeta Campo, 21 out 2022.

BLAKE, W. H. et al. Magnetic enhancement in wildfire-affected soil and its potential for sediment-source ascription. **Earth Surface Processes and Landforms**, Plymouth, p. 246-264, 2006.

BRADY, N. C.; WEIL,. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3. ed. Porto Alegre: Pearson Education, cap. 2, p. 31, 2013.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Biodiversidade.

BRAZ, S. et al. Degradação de Pastagens, Matéria Orgânica do Solo e a Recuperação do Potencial Produtivo em Sistemas de Baixo “Input” Tecnológico na Região dos Cerrados. Embrapa. Seropédica, RJ, dez 2004.

BUSTAMANTE, M. (2021). Mudanças no uso da terra e fragmentação. [Notas de apoio à disciplina de Mudanças Ambientais Globais e Biodiversidade, lecionada na UnB].

CARDOSO, J. Atributos químicos e físicos do solo e matéria orgânica do solo sob mangueira irrigada e caatinga nativa na região do Vale do Submédio São Francisco. Dissertação (Mestre de Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2014.

CARNEIRO, A. TOUSO, A. BAFFA, O. Avaliação da Suscetibilidade Magnética usando uma balança analítica. *Química Nova*, v. 26, n. 6, p. 952-956, 2003.

COSTA, A. BORGES, V. Os solos do Cerrado Brasileiro em cores, textura e arte. Observatório Geográfico da América Latina. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Ensenanzadelageografia/Metodologiaparalaensenanza/94.pdf>>. Acesso em: 02 fev 2023.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado. Amostragem de solo para análise química. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1982. (Circular Técnica, 11)

FERNANDES, P, A., PESSÔA, V,L,S, O Cerrado e suas atividades impactantes: uma leitura sobre o garimpo, a mineração e a agricultura mecanizada, OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia, v, 3, n, p, 19-37, out, 2011, Acesso em: 26 dez, 2022.

FERREIRA, L. et al., Dinâmica agrícola e desmatamentos em áreas de Cerrado: uma análise a partir de dados censitários e imagens de resolução moderada. Revista Brasileira de Cartografia n. 61/02, p. 117-127, 2009.

GOMES, A. Qualidade do solo: conceito, importância e indicadores da qualidade. Revista Cultivar. Nov 2015. Grandes Culturas. Disponível em:

< <https://revistacultivar.com.br/artigos/qualidade-do-solo-conceito-importancia-e-indicadores-da-qualidade>>. Acesso em: 02 jan 2023.

GOMES, G. Uso do $\delta^{13}C$ como indicador da influência de pastagens cultivadas em zonas ripárias na bacia do Alto Corumbá, Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

IBGE, Produção agropecuária, 2021.

ICMBIO. Cerrado, 2021. Disponível: <<https://www.icmbio.gov.br/cbc/conservacao-da-biodiversidade/biodiversidade.html#:~:text=O%20Cerrado%20%C3%A9%20um%20dos,oeste%20do%20Piau%C3%AD%20e%20por%C3%A7%C3%B5es>>. Acesso em: 04 fev 2023.

ICMBIO. Biodiversidade do Cerrado. Disponível em:

<<https://www.icmbio.gov.br/cbc/conservacao-da-biodiversidade/biodiversidade.html#:~:text=O%20Cerrado%20%C3%A9%20um%20dos,oeste%20do%20Piau%C3%AD%20e%20por%C3%A7%C3%B5es>>, Acesso em 22 dez 2022.

IMB. Sobre Goiás. Disponível em:

<https://www.imb.go.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=79&Itemid=145>. Acesso em: 20 dez 2022.

KEENOR, S. G. et al. Capturing a soil carbon economy. **Royal Society Open Science**, abr 2021. 1-17.

MAGALHÃES, A. Setores da economia. Educa mais Brasil, 2019. Disponível em: < <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/matematica/setores-da-economia>>. Acesso em: 02 fev 2023.

MAPA. Principais conceitos e expressões utilizados na agricultura de precisão – AP. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/tecnologia-agropecuaria/agricultura-de-precisao-1/arquivos-de-agricultura-de-precisao/conceitos-relacionados-a-agricultura-de-precisao-1.pdf>>. Acesso em: 19 fev 2023.

MARTINS, R. Mudança ambiental e globalização: duplas exposições. Ambiente & Sociedade. Campinas, v. 13, n. 1, p. 207-211. jun, 2010.

MENDONÇA-SANTOS, M, L., SANTOS, H, G., Mapeamento digital de classes e atributos de solos: métodos, paradigmas e novas técnicas, Embrapa Solos, Documentos; n, 55, Rio de

Janeiro, 2003, Acesso em: 04 jan 2023, Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPS/11588/1/doc55_mapeamentodigital.pdf>.

NEOGRID. Método estatístico: o que é como se aplica à cadeia de suprimentos. Neogrid Blog, ago. 2022. Disponível em: < <https://neogrid.com/br/blog/metodo-estatistico-como-se-aplica-cadeia-de-suprimentos>>. Acesso em: 19 fev 2022.

NOGUEIRA, M, Relação dos atributos do solo, matéria orgânica e susceptibilidade magnética em uma toposequência no Estado do Rio Grande do Sul, Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2022.
NOVOTNY, E. H.; CANELLAS, L. P.; COLNAGO, L. A. Caracterização da matéria orgânica do solo. In: _____ **Caracterização da matéria orgânica do solo**. [S.l.]: [s.n.], cap. 11, p. 153-196, 2022.

OLIVEIRA, C. ARAÚJO, A, P.; MAZUAR, N, FUNDAMENTOS DA CIÊNCIA DO SOLO, IA 321, Fundamentos de aula práticas, Data completa 2002, Roteiro de aulas práticas, Universidade Federal rural do Rio de Janeiro.

PELUCO, R. et al., Suscetibilidade magnética do solo e estimação da capacidade de suporte à aplicação de vinhaça. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 48, n. 6, o. 661-672, jun. 2013.

PELUCO, R. Magnetismo e cor na identificação de solos com diferentes potenciais de sorção de imazaquim, Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jabotical, 2016.

PERON, A. EVANGELISTA, A. Degradação de pastagens em regiões de Cerrado. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, v. 28, n. 3, p. 655-661, maio/jun., 2004.

POLLO, G. Suscetibilidade magnética, atributos do solo e da planta na discriminação de áreas de manejo específico na cultura do café. Dissertação (Mestre em Agronomia (Produção Vegetal)) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

RIBEIRO, K. D.; SOUZA, L. K. LIMITES DE ATTERBERG E SUA CORRELAÇÃO COM A. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Formiga, 28 jun 2018. 185-196.

ROCHA, G., Detecção de desmatamentos no bioma Cerrado entre 2002 e 2009: Padrões, tendências e impactos. *Revista Brasileira de Cartografia* n. 63/03, 2011.

ROSA, R.; SANO, E. E.; ROSENDO, J. S. ESTOQUE DE CARBONO EM SOLOS SOB PASTAGENS CULTIVADAS NA. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, p. 333-351, ago 2014.

SANTOS, G. et al., Krigagem simples versus krigagem universal: qual o preditor mais preciso? *Energia na agricultura*, 26(2), 49-55. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2011v26n2p49-55>.

Santos, H. et al. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018.

SANTOS, V., "O que é hotspot?"; *Brasil Escola*, Disponível em:

<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/biologia/o-que-e-hotspot.htm>, [20--], Acesso em 04 de janeiro de 2023.

SENAS. Setor agropecuário aumenta participação no PIB brasileiro. **CNA Brasil**, 2021. Disponível em: <<https://cnabrasil.org.br/noticias/setor-agropecuario-aumenta-participacao-no-pib-brasileiro>>. Acesso em: 26 dezembro 2022.

SILVA JUNIOR, J. F. D., Marques Júnior, J., Camargo, L. A., Teixeira, D. D. B., Panosso, A. R., & Pereira, G. T. (2012). Simulação geoestatística na caracterização espacial de óxidos de ferro em diferentes pedoformas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(6), 1690-1703.

SILVA, A. et al. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. (2014). *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 44, n. 10, p. 1783-1789.

SILVA, A. et al. Relação entre matéria orgânica do solo e declividade de vertentes em topossequência de latossolos do sul de Minas Gerais. (2007). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31, 1059-1068.

SILVA, D. Mineralização da matéria orgânica de lodo aplicado no solo e produtividade do Capim-Tifton 85, Dissertação (Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

SOUSA, D., LOBATO, E. Latossolos, Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/latossolos>. Acesso em: 04 jan 2023.

SOUSA, S. Crédito rural e atividade pecuária bovina (2013-2016): distribuição espacial, finalidade e destinações. *RAEGA*, Curitiba, v. 50, p. 183-206, abr 2021.

SOUZA, José Carlos; MARTINS, Patrick de Aquino Martins; DRUCIANKI, Vinícius Polzin, Uso e cobertura do solo no Cerrado: panorama do período de 1985 a 2018, *Élisée*, Revista Geo UEG – Goiás, v, 9, n,2, e922020 set 2020, Acesso em: 26 dez 2022, Disponível em: <<https://www.revista.ueg.br/index.php/elisee/article/view/10857>>.

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry**: genesis, composition, reactions. 2. ed. Danvers: John Wiley & Sons, Inc., 1994.

TOWNSEND, C., COSTA, N., PEREIRA, R. Recuperação e práticas sustentáveis de manejo de pastagens na Amazônia. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2012.

UNESP. Krigagem (Krigage, Kriging). [Material de apoio à disciplina da Faculdade de Ciências Agrônômicas, lecionada na Unesp].

WWF, Bioma Cerrado, A savana mais biodiversa do mundo está ameaçada, 2019.