

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
BACHARELADO EM AGRONOMIA
KÉVELLE NATANY ALVES BARBOSA

ESPACIALIZAÇÃO DA GRANULOMETRIA DO SOLO EM LATOSSOLO
VERMELHO EM CERES (GO)

CERES – GO
2022

KÉVELLE NATANY ALVES BARBOSA

**ESPACIALIZAÇÃO DA GRANULOMETRIA DO SOLO EM LATOSSOLO
VERMELHO EM CERES (GO)**

Trabalho de curso apresentado ao curso de Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia, sob orientação do Prof. Dr. Roriz Luciano Machado.

**CERES – GO
2022**

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

BB238e Barbosa, Kévelle Natany Alves
ESPACIALIZAÇÃO DA GRANULOMETRIA DO SOLO EM
LATOSSOLO VERMELHO EM CERES (GO) / Kévelle Natany
Alves Barbosa; orientador Roriz Luciano Machado . --
Ceres, 2022.
32 p.

TCC (Graduação em Bacharelado em Agronomia) --
Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 2022.

1. Física do solo. 2. Complexo Barro Alto. 3.
Textura do solo. 4. Dependência espacial. 5.
Mapeamento. I. Machado , Roriz Luciano, orient. II.
Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 nº2376



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e | Educacional - Tipo: |

Nome Completo do Autor: Kévelle Natany Alves Barbosa
Matrícula: 2017103200210156

Título do Trabalho: Espacialização de características granulométricas em LATOSSOLO VERMELHO em Ceres (GO)

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: janeiro/22

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Ceres, 14 de janeiro de 2022.

Assinatura eletrônica do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura eletrônica do orientador

Documento assinado eletronicamente por:

- Kévelle Natany Alves Barbosa, 2017103200210156 - Discente, em 19/01/2022 14:47:50.
- Roriz Luciano Machado, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 14/01/2022 16:43:59.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 14/01/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 347723
Código de Autenticação: a332c1fd8c



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Ceres
Rodovia GO-154, Km.03, Zona Rural, None, CERES / GO, CEP 76300-000
(62) 3307-7100



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos quatorze dias do mês de janeiro do ano de dois mil e vinte e dois, realizou-se a defesa de Trabalho de Curso da acadêmica Kévelle Natany Alves Barbosa, do Curso de Bacharelado em Agronomia, matrícula 2017103200210156, cujo título é "Especialização de características granulométricas em LATOSSOLO VERMELHO em Ceres (GO)". A defesa iniciou-se às 13 horas e 54 minutos, finalizando-se às 15 horas e 51 minutos. A banca examinadora considerou o trabalho APROVADO com média 8,4 no trabalho escrito, média 8,7 no trabalho oral, apresentando assim, média aritmética final de 8,6 pontos, estando a estudante APTA para fins de conclusão do Trabalho de Curso.

Após atender às considerações da banca e respeitando o prazo disposto em calendário acadêmico, a estudante deverá fazer a submissão da versão corrigida em formato digital (.pdf) no Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF, acompanhado do Termo Ciência e Autorização Eletrônico (TCAE), devidamente assinado pelo autor e orientador.

Os integrantes da banca examinadora assiam a presente.

(Assinado Eletronicamente)
Roriz Luciano Machado

(Assinado Eletronicamente)
Valter dos Santos Marques

(Assinado Eletronicamente)
Antonio Evami Cavalcante Sousa

Documento assinado eletronicamente por:

- Valter dos Santos Marques, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 14/01/2022 16:01:12.
- Antonio Evami Cavalcante Sousa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 14/01/2022 15:57:09.
- Roriz Luciano Machado, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 14/01/2022 15:55:20.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/01/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 345103
Código de Autenticação: e47fcfad11



AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e por ser a fortaleza durante toda trajetória acadêmica.

Aos meus pais, por serem a base e os maiores incentivadores nos momentos mais difíceis do curso.

À Isabela Silva, pelo auxílio nas análises geoestatística e ao Patriky Rangel pela colaboração durante a execução das análises laboratoriais.

Ao orientador Dr. Roriz Luciano Machado, por todo suporte, correções e apoio ao logo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, pelo empenho e disponibilidade.

Ao Instituto Federal Goiano - Campus Ceres e seu corpo docente pelas oportunidades e conhecimentos passados.

E a todos que, de forma direta ou indireta, fizeram parte ou torceram a favor da minha formação.

Sou eternamente grata a vocês.

RESUMO

O mapeamento da textura do solo é ferramenta importante, pois gera informações para o manejo do solo e da fertilidade de forma mais precisa na cultura da cana-de-açúcar. Objetivou-se determinar e espacializar a granulometria do solo em área de cana-de-açúcar na Unidade de Pesquisa em Cana-de-Açúcar em Ceres (GO). O experimento compreendeu área de 285 x 60 m com amostragem em malha de 15 x 15 m nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm de janeiro de 2020 a janeiro de 2021. Os atributos avaliados foram: argila (ARG), areia (ARE), silte (SIL) e argila natural (AN). Foram aplicadas estatísticas descritivas como: mínimo, máximo, média, mediana, desvio padrão, assimetria, curtose e normalidade. Os dados foram ajustados a modelos teóricos para a obtenção dos semivariogramas, selecionando-se o melhor modelo e aplicado-se a técnica de validação cruzada. Os atributos foram interpolados por krigagem ordinária, seguido da construção de mapas de iso-ocorrência. O conteúdo de argila variou de 367,1 a 578,3 g kg⁻¹ e 411,17 a 628,8 g kg⁻¹, com médias de 490,20 e 523,16 g kg⁻¹, para as camadas de 0-20 e 20-40 cm respectivamente, sendo classificado como argiloso para ambas as camadas. Argila natural apresentou médias de 43,25 e 37,52 g kg⁻¹ para as camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. Os coeficientes de variação (CV%) para argila total foram baixos (<10%), areia e silte médios (10,31-25,1%), e argila natural muito altos (90,94-99,34). A dependência espacial variou entre moderada e forte, com ajustes predominantemente aos modelos esférico e exponencial. A análise geoestatística mostrou-se adequada ao estudo da granulometria do LATOSSOLO VERMELHO, pois houve dependência espacial. Estudos futuros na área podem ser feitos em *grid* de 22 m, pois apresentam valores de alcance superiores a 22 m. A área apresenta maior uniformidade espacial nas camadas de 0-20 cm para silte e 20-40 cm para argila total e areia, apontando elevada variabilidade para argila natural. A distribuição espacial de argila na área serve de subsídio para tomadas de decisões no manejo do solo e fertilidade.

Palavras-chave: Física do solo, Complexo Barro Alto, Textura do solo, Dependência espacial, Mapeamento.

ABSTRACT

Soil texture mapping is an important tool, as it generates information for more accurate soil and fertility management in the sugarcane crop. The objective was to determine and spatialize the soil granulometry in a sugarcane area at the Sugarcane Research Unit in Ceres (GO). The experiment comprised an area of 285 x 60 m with sampling in a mesh of 15 x 15 m at depths of 0-20 and 20-40 cm from January 2020 to January 2021. The attributes evaluated were: clay (ARG), sand (ARE), silt (SIL) and natural clay (AN). Descriptive statistics such as minimum, maximum, mean, median, standard deviation, asymmetry, kurtosis and normality were applied. The data were adjusted to theoretical models to obtain the semivariograms, selecting the best model and applying the cross-validation technique. The attributes were interpolated by ordinary kriging, followed by the construction of iso-occurrence maps. The clay content varied from 367.1 to 578.3 g kg⁻¹ and 411.17 to 628.8 g kg⁻¹, with averages of 490.20 and 523.16 g kg⁻¹, for layers 0-20 and 20-40 cm respectively, being classified as clayey for both layers. Natural clay presented averages of 43.25 and 37.52 g kg⁻¹ for the 0-20 and 20-40 cm layers, respectively. The coefficients of variation (CV%) for total clay were low (<10%), medium sand and silt (10.31-25.1%), and very high natural clay (90.94-99.34). Spatial dependence ranged from moderate to strong, with adjustments predominantly to spherical and exponential models. The geostatistical analysis proved to be adequate for the study of the granulometry of the RED LATOSOL, as there was spatial dependence. Future studies in the area can be carried out in a 22 m grid, as they present range values greater than 22 m. The area presents greater spatial uniformity in the layers of 0-20 cm for silt and 20-40 cm for total clay and sand, indicating high variability for natural clay. The spatial distribution of clay in the area serves as a subsidy for decision-making in soil management and fertility.

Keywords: Soil physics, Barro Alto Complex, Soil texture, Spatial dependence, Mapping.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização da área experimental.....	12
Figura 2 – Croqui do delineamento experimental utilizado na área	14
Figura 3 – Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar argila total (g kg^{-1}) nas camadas de 0-20 cm (a) e 20-40 cm (b) em LATOSSOLO VERMELHO em Ceres (GO).....	19
Figura 4 – Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar silte (g kg^{-1}) nas camadas de 0-20 cm (a) e 20-40 cm (b) em LATOSSOLO VERMELHO em Ceres (GO)	20
Figura 5 – Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar areia (g kg^{-1}) nas camadas de 0-20 cm (a) e 20-40 cm (b) em LATOSSOLO VERMELHO em Ceres (GO)	20
Figura 6 – Mapas de dispersão de argila natural (g kg^{-1}) em água, nas camadas de 0-20 cm (a) e 20-40 cm (b) em LATOSSOLO VERMELHO em Ceres (GO)	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características do solo influenciadas de acordo com a granulometria	06
Tabela 2 – Estatística descritiva para dados granulométricos com dispersão total e argila dispersa em água, em LATOSSOLO VERMELHO, localizado em área experimental da Unidade de Pesquisa em Cana-de-Açúcar (CRV/IF Goiano – Campus Ceres), município de Ceres (GO)	16
Tabela 3 – Parâmetros do ajuste experimental e do teste de validação para atributos os físicos de LATOSSOLO VERMELHO em Ceres (GO).....	18

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	01
REVISÃO DE LITERATURA	03
MATERIAL E MÉTODOS	12
RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24

INTRODUÇÃO

No setor agrícola, os requerimentos por sistemas informacionais atualizados, detalhados e confiáveis a respeito do potencial dos solos são crescentes, bem como, seus recursos, a fim de propiciar o uso e manejo sustentável (SENA et al., 2020). Os solos desempenham papel-chave na produção agrícola mundial, além de serviços ecossistêmicos prestados, como o armazenamento de carbono e a ciclagem de nutrientes (LATAWIEC et al., 2021). Apesar da grande relevância dos solos, há constante pressão mediante a grande demanda alimentícia, fator que torna imprescindível garantir o uso sustentável dos recursos do solo, conforme a produção de alimentos em grande escala (COMINO et al., 2020; CHEN et al., 2021). O agricultor brasileiro vem explorando os seus solos de forma, ainda desordenada e com poucos conhecimentos do seu comportamento mediante as diferentes tecnologias aplicadas.

No Brasil, a agricultura é uma das principais atividades econômicas, devido às condições climáticas existentes. Além disso, o país apresenta elevada diversidade de solos, devido muita variação de relevos, biota, clima, materiais de origem e fatores de formação do solo (PINHEIRO JÚNIOR et al., 2020). A maioria dos solos no Brasil são das ordens LATOSSOLO e ARGISSOLO, os quais apresentam limitações quanto à fertilidade natural. Tal fator se associa à pedogênese sob clima quente e úmido, além disso, a mineralogia, granulometria e o conteúdo de matéria orgânica do solo constituem como fatores decisivos quanto às tomadas de decisão do manejo do solo (NANNI et al., 2021). A exploração da agricultura brasileira ocorre sobre os biomas Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga, Pampa, Pantanal e o Cerrado, e atualmente apresenta uma constante expansão de áreas nos biomas da Amazônia e Cerrado.

O cerrado brasileiro é constituído por dois milhões de quilômetros quadrados, aproximadamente 23% do território nacional, com predominância de LATOSSOLOS, devido às condições tropicais quentes, úmidas, e elevado grau de intemperismo (AJAYI et al., 2010). Os LATOSSOLOS são caracterizados como complexos, mediante a dificuldade no manejo, considerando o baixo conteúdo nutricional natural (FAGUNDES et al., 2021). Com base em tais limitações, a adoção de tecnologias é

necessária a fim de otimizar a capacidade de produção, via melhor compreensão sobre as propriedades físicas e químicas do solo e escolha de métodos de manejo.

A partir do mapeamento, é possível ampliar a capacidade de rastreabilidade das características do solo, o que denota no uso, manejo adequado e conservação dos solos, podendo otimizar a capacidade de produção agrícola. Tal procedimento tem início na coleta de amostras de solos e posterior tratamento estatístico dos dados obtidos, a fim de estimar e compreender a variabilidade espacial das propriedades do solo (MENDES et al., 2019).

Nesse sentido, os mapas de solos e de suas propriedades são uma das principais ferramentas disponíveis para atender a essa demanda, estratégicos no planejamento das atividades agrícolas (ANDRADE et al., 2020; BAHIA et al., 2018). Na microrregião de Ceres-GO é comum a produção sucroalcooleira, sendo o cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) uma das principais atividades econômicas. A avaliação das características dos solos, como a textura que é uma característica que influencia em várias outras propriedades físicas e químicas constitui ferramenta simples e importante em tomadas de decisão no manejo de solo e tratos culturais, quando bem aplicado.

Nesse contexto, objetivou-se determinar a variabilidade espacial e o mapeamento da granulometria do solo em LATOSSOLO VERMELHO em Ceres-GO, visando gerar informações para o uso e manejo mais adequado do solo.

REVISÃO DE LITERATURA

Granulometria do solo: Aspectos gerais

O Brasil apresenta a maior extensão territorial da América do Sul, com aproximadamente 851 milhões de hectares, sendo o quinto maior país do mundo, com grande representatividade na produção de alimentos, cerca de 152,5 milhões de hectares em terras agricultáveis (DEMATTÊ et al., 2019). O Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos possui 13 classes (ordens), com múltiplas características morfológicas e físico-químicas (SANTOS, 2018).

Com base na diversidade dos solos brasileiros, a análise granulométrica se mostra como fundamental, pois determina a distribuição do tamanho das partículas do solo, o que influi no comportamento físico-hídrico (SANTOS et al., 2019b). A granulometria se divide em fração grosseira (> 2 mm), matacão (> 200mm), calhau (20 a 200 mm), cascalho (20 a 2 mm) e fração de terra (< 2 mm), nas proporções relativas das frações areia fina (0,05 a 0,2 mm), areia grossa (0,2 a 2 mm), silte (0,002 a 0,05 mm) e argila (<0,002 mm) do solo (ALMEIDA et al., 2012; ABNT NBR 6502/95, 1995).

Ruiz (2005) descreveu que a análise granulométrica do solo se divide em três principais etapas, com início na adoção de pré-tratamentos, com o intuito de remover agentes cimentantes e flocculantes; seguido da dispersão da amostra de solo e, posterior quantificação das frações do solo. A partir da ruptura dos agregados do solo e a individualização dos particulados via energia mecânica e química, origina uma suspensão estabilizada, possibilitando a quantificação granulométrica (DONAGEMMA et al., 2017).

Dentre os principais métodos utilizados para determinar a textura do solo estão a textura expedita, o método do densímetro, método da pipeta e métodos nucleares (pouco aplicados). De acordo com BLAKE e HARTGE (1986), o método do densímetro é comumente utilizado para quantificar as frações granulométricas do solo, constituído pela medição direta da concentração das partículas. O método da pipeta também recebe destaque, caracterizado pela coleta dos agregados do solo via pipeta, com profundidades e períodos estipulados.

Dentre as classificações da textura, a expedita se demonstra como vantajosa, pois além da simplicidade operacional, proporciona a classificação prévia do solo rapidamente, por meio da determinação de um indicador textural (OLIVEIRA et al., 2020). Outro processo de classificação é o do triângulo textural, a qual é precisa e comumente utilizada. Cada lateral do triângulo textural representa uma escala percentual, conforme os atributos físicos do solo, como argila, silte e areia, os quais delimitam a textura do solo de acordo com as classes texturais (CENTENO et al., 2017; AARTHI e SIVAKUMAR, 2020). Nesse sentido, a textura é definida por meio das diferentes combinações dos atributos físicos (argila, silte e argila), sendo que a fração de argila pode ser composta por diferentes tipos de minerais.

A fração coloidal dos solos é composta por diferentes argilominerais, agrupados em classes, como primários (pouco comum) ou secundários, silicatos ou não silicatos e cristalinos ou amorfos. Tal classificação permite determinar características morfológicas, mecânicas e hidrológicas do solo (LEHMANN et al., 2021). Os argilominerais 1:1 compreendem o grupo caulinita, formados por lâmina tetraédrica de sílica e lâmina octaédrica de alumina, encontrados em grande parte dos solos, com ênfase em solos com alto grau de intemperismo. Enquanto, os argilominerais 2:1 constituem os grupos das ilitas, montmorilonitas, vermiculitas e das micas, compostos por lâminas tetraédricas e lâminas octaédricas (KOME et al., 2019).

Conforme descrito por Ker (1997), um dos argilominerais mais abundantes na crosta terrestre se trata da caulinita, originada pela alteração de primários como as micas, ou secundários, via degradação de argilas 2:1. Enquanto a gibbsita, composta por óxidos de alumínio, se refere a um mineral comumente encontrado em diversas classes de solos, de modo a favorecer a capacidade de agregação, com ênfase em LATOSSOLOS, com maiores índices de intemperismo e lixiviação.

O grupo das vermiculitas $((Mg, Fe)_3 [(Si, Al)_4 O_{10}] [OH]_2 4H_2O)$ é formado por minerais laminares hidratados, amplamente encontrados em território brasileiro, assim como nos Estados de Goiás, Paraíba e Piauí. Os argilominerais não contêm asbestos, o que garante maior valor agregado, são pertencentes ao grupo dos filossilicatos, de origem metamórfica, magmática, hidrotermal, diagenética e intempérica (UGARTE et al., 2005).

O grupo das montmorilonitas ($M_x(Al_{4-x}Mg_x)Si_8O_{20}(OH)_4$) são determinadas como esmectitas dioctaédricas (EMMERICH et al., 2009), pertencentes ao grupo dos filossilicatos 2:1, constituídos por estruturas à base de folhas tetraédricas de sílica e folha central octaédrica de alumina, agrupadas por átomos de oxigênio (PAIVA et al., 2008). O grupo clorita ($(Mg,Al,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2.(Mg,Al,Fe)_3(OH)_6$) são filossilicatos comumente encontrados em rochas magmáticas, metamórficas e sedimentares, sendo classificadas em monoclinicas, ortorrômbicas e triclinicas (BARTON e KARATHANASIS, 2002).

Os óxidos de ferro, como a hematita ($\alpha-Fe_2O_3$), goethita ($\alpha-FeOOH$) são associados à estruturação dos solos brasileiros e coloração, sendo a goethita responsável pela cor amarela e a hematita a coloração vermelha nos solos, além disso, participam dos processos de adsorção de ânions, cátions e compostos orgânicos, fontes de microelementos e fixação de P e metais pesados (MELO et al., 2001; FERNANDES et al., 2004; CAMÊLO et al., 2017).

Com base na grande variabilidade dos tipos de argilominerais existentes e amplos atributos físicos dos solos, a composição dos solos em relação à sua textura é determinante quanto as suas características morfológicas, pois são fatores decisivos na capacidade retenção e disponibilização de água, coesão/resistência, consistência, aeração, permeabilidade, macroporosidade, capacidade de troca catiônica (CTC) e conteúdos nutricionais (KLEIN et al., 2013; MENTGES et al., 2016).

Influência da granulometria nas propriedades do solo

De acordo com os processos de formação dos solos, sabe-se que, as frações granulométricas são variáveis, com grande influência nas propriedades físicas e químicas dos solos. Na tabela 1, estão descritos os principais atributos do solo e sua variação de acordo com a textura.

Tabela 1 - Características do solo influenciadas de acordo com a granulometria.

Textura fina Argilosos	Textura média Francos	Textura grosseira Arenosos
Retenção de água elevada	Retenção de água média	Retenção de água baixa
Circulação de água difícil	Circulação de água média	Circulação de água fácil
Coesão elevada	Coesão mediana	Coesão baixa
Consistência plástica e pegajosa (molhada) e dura (seco)	Consistência mediana	Consistência friável (seco ou molhado)
Densidade do solo menor	Densidade do solo média	Densidade do solo maior
Porosidade total maior	Porosidade total média	Porosidade total menor
Microporosidade maior	Porosidade média	Macroporosidade maior
Aeração deficiente	Aeração mediana	Boa aeração
Superfície específica elevada	Superfície específica mediana	Superfície específica baixa
Solos bem estruturados	Solos com média estruturação	Solos sem agregação
CTC elevada	CTC mediana	CTC baixa
Difícil preparo mecânico, pouco lavados	Preparo mecânico mediano	Fácil preparo mecânico, mais lavados
Menor deficiência em elementos fertilizantes	Disponibilidade média de elementos fertilizantes	Maior deficiência em elementos fertilizantes

Fonte: (UFSM, 2011).

Dentre os fatores variáveis de acordo com a granulometria, está a coesão. O maior conteúdo e arranjo compacto das frações de areia e argila podem atuar como agente cimentante provocando maior coesão, de modo a dificultar o processo de aeração e restringir o desenvolvimento vegetal, pois o sistema radicular das plantas é limitado de acordo com o incremento de resistência à penetração (ARAÚJO et al., 2018; MENEZES et al., 2018). A porosidade dos solos se correlaciona com a capacidade de crescimento vegetal, pois a dimensão, forma e tipo das frações granulométricas determinam o movimento e distribuição de ar e água no solo

(JESUS et al., 2017). Os macroporos apresentam dimensão superior a 100 µm de diâmetro, capazes de controlar o movimento da água e aeração do solo, enquanto os microporos são responsáveis pelo armazenamento de água no solo (SILVA et al., 2020). A textura regula o conteúdo de poros existentes nos solos, sendo assim demonstrados por solos com maior ou menor conteúdo de argila e/ou areia, o que reflete na maior ou menor capacidade de retenção e armazenamento hídrico, mediante a existência de macro e microporos (FREITAS et al., 2013).

Outra característica chave coordenada pela granulometria dos solos, se atribui a capacidade de troca catiônica (CTC). Contudo, para que seja possível reter cátions é necessário que a estrutura do solo forneça as cargas de superfície, tornando-as acessíveis (SANTOS et al., 2009). Por isso, é comum que, em solos com maiores teores de argila a CTC seja maior, comparado à solos com maiores conteúdos de areia (ZHAO et al., 2020). Sendo assim, nota-se a grande correlação entre as frações granulométricas com as características dos solos, pois os diferentes tamanhos e teores de areia, argila e silte são capazes de designar o potencial de plasticidade, estruturação e conteúdo nutricional dos solos (RIBEIRO e SOUZA, 2018).

Os LATOSSOLOS ocupam cerca de 60% do Brasil, apresentando alto grau de intemperismo, constituídos por argilominerais, oxi-hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al). Geralmente possuem baixa capacidade de troca de cátions (CTC) da fração argila, como oscilações entre solos caulíníticos (suscetíveis aos processos de degradação) até solos oxídicos (SCHAEFER et al., 2008; SANTOS et al., 2018; NUNES et al., 2021). Não apenas a capacidade de armazenamento de água, como outros atributos físicos e químicos dos LATOSSOLOS correlacionam-se às frações granulométricas, pois influi na capacidade de aeração, penetração e crescimento do sistema radicular vegetal (LIMA et al., 2014).

Granulometria do solo na formação geológica do Complexo Barro Alto

O Complexo Barro Alto (CBA) ocorre em associação aos complexos de Niquelândia e Cana Brava, dando origem à feição de escala orogênica arqueada descontínua na zona interna da Faixa Brasília, situa-se na parte central do Planalto dissecado, do Alto Tocantins-Paranaíba, terreno granulítico exposto no interior do

Cinturão Neoproterozóico Brasília, Província Tocantins (OLIVEIRA et al., 2009; SILVEIRA et al., 2021). No CBA são encontradas unidades ultramáficas de origem ortometamórficas com predomínio de metadunitos e metapiroxenitos, com predominância de LATOSSOLO VERMELHO Acriférico Típico, textura argilosa à moderada (OLIVEIRA et al., 2004), apresentam distintas características granulométricas, o que exige a realização de mapeamentos visando o manejo e uso adequado (CAMARGO e SANTOS, 2016).

Nesse sentido, o desenvolvimento de análises granulométricas é primordial na agricultura, assim como no Complexo Barro Alto, composto pelas classes de ARGISSOLOS, CAMBISSOLOS, LATOSSOLOS, NEOSSOLOS e NITOSSOLOS. Os LATOSSOLOS variam de VERMELHOS Distróficos, com textura argilosa, relevo suave ondulado à LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Típicos, com textura média, relevo plano ou quase plano, designados pela existência de boa permeabilidade, drenabilidade e baixa relação de texturas/teores de argila (BARBALHO et al., 2018).

O predomínio dos solos no CBA é de textura argilosa, caulíníticos, de coloração avermelhada. Possuem boa fertilidade natural e capacidade de retenção de água, são ricos em potássio (K) e deficientes em fósforo (P), o que pode ser explicado pela fixação nos argilominerais 1:1 e óxidos. Tendo em vista tais características físicas e químicas, maiores informações sobre a textura corroboram com a recomendação nutricional adequada, considerando o poder tampão do solo de acordo com os teores de argila existentes, de modo a otimizar as atividades de manejo desenvolvidas (OLIVEIRA et al., 2004; SANTOS et al., 2018; COSTA et al., 2020).

No entanto, a granulometria fornece informações úteis quanto às características físicas, as quais são fundamentais à conservação dos solos, desde a escolha dos métodos de uso e manejo, até na maior capacidade de utilização da água dos sistemas de produção, práticas de fertilização e correção do solo, as quais refletem no incremento produtivo das espécies vegetais (MAURI et al., 2011).

Mapeamento do solo na produção da cultura de cana-de-açúcar

Apesar do grande destaque brasileiro no cultivo agrícola a nível mundial, a produção alimentícia possui elevada demanda o que traz consigo a necessidade de maiores informações sobre as características dos solos, importantes ao incremento em produtividade agrícola (SILVA et al., 2020b). Além da produção de grãos, o Brasil é o líder no segmento de produção canavieira. Entretanto, o uso e o manejo do solo são fatores determinantes em relação aos atributos do solo e rendimento cultural, pois as plantas requerem condições apropriadas ao seu desenvolvimento, como condições físicas, químicas e biológicas do solo (MARTINI et al., 2020).

O cerrado brasileiro abrange cerca de 23% da extensão territorial nacional, o que equivale a aproximadamente dois milhões quilômetros quadrados. No bioma Cerrado, o setor sucroenergético é amplamente difundido, com ênfase nos LATOSSOLOS (CHERUBIN et al., 2015). Apresenta produção tecnificada, via utilização de insumos, implementos agrícolas, maquinários modernos, além do processamento industrial da cana-de-açúcar (FERREIRA e SOBRINHO, 2017).

No Cerrado, as limitações na produtividade agrícola podem ser encontradas em LATOSSOLOS, conforme as inadequadas práticas de manejo adotadas (FEITOSA et al., 2020). Deste modo, ressalta-se a necessidade de escolha de métodos de manejo que possam favorecer o incremento produtivo vegetal e conservação dos solos. A análise granulométrica fornece informações da textura e permite inferir sobre outras características do solo correlacionadas à capacidade de produção e fertilidade do solo (MENTGES et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2018).

O mapeamento dos solos se refere a um desafio (DEMATTÊ et al., 2019), pois diversas regiões brasileiras precisam direcionar estudos com enfoque à conservação da qualidade física do solo e melhorias nas técnicas de manejo, de modo a minimizar os entraves correlacionados aos sistemas de produção adotados (PAIVA et al., 2020).

Os resultados do mapeamento do solo corroboram com a gestão adequada, aumento na produtividade e redução de processos de degradação, o que representa avanço na produção da cana-de-açúcar (PEREIRA et al., 2017), através do incremento em produtividade, redução de custos e melhorias nas características físico-químicas e biológicas do solo (CERRI e MAGALHÃES, 2012).

Geoestatística: Dependência espacial, interpolação e espacialização das propriedades do solo

As características dos solos são altamente variáveis, conforme os processos físicos, químicos e biológicos. Sendo assim, surge à necessidade minimizar as incertezas e complexidades referentes às estruturas dos solos, via adoção de modelos estatísticos e matemáticos (BITENCOURT et al., 2016). À medida em que são disponibilizadas informações confiáveis a respeito das características dos solos, é possível traçar estratégias, desde o uso racional e adequado de fertilizantes, até a escolha de métodos de manejo e conservação do solo (MOLIN e TAVARES, 2019).

Desde 1800, estudos com foco nos caracteres pedológicos vêm sendo desenvolvidos, porém, ainda existem lacunas. Nesse contexto, o uso de tecnologias como GPS, sensoriamento remoto, técnicas estatísticas, geoestatísticas, dentre outras, têm sido desenvolvidas para otimizar a capacidade de coletar, analisar e prever informações granulométricas dos solos, sendo a precisão da representação do padrão espacial um fator chave (SOUZA et al., 2014; BREVIK et al., 2016).

A geoestatística permite analisar a variabilidade espacial, reproduzir mapas e interpolar, com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados (SOUZA et al., 2010; DALCHIAVON et al., 2013). Os semivariogramas são peças-chave da geoestatística, os quais testam hipóteses intrínsecas da estacionariedade, de modo que possam determinar se os atributos do solo apresentam dependência espacial (ARAÚJO et al., 2018b; LEENA et al., 2021).

O método de avaliação testa a hipótese de que os solos não possuem dependência espacial. Quanto mais próximo a zero a inclinação do semivariograma, há o efeito de pepita puro, ou seja, não há correlação espacial dos atributos avaliados, determinado pela ausência ou existência de variabilidade conforme a escala de amostragem (GRANADOS et al., 2005).

Entre os parâmetros para determinação do semiovariograma, o alcance possui grande relevância, pois os valores referentes a esse indicam até que distância as amostras apresentam correlação espacial entre si. Quanto menor o alcance, mais desuniforme é o solo e mais próximas devem ficar os pontos de amostragem, limitando-se na distância do alcance.

O processo de modelagem é testado pela técnica de validação cruzada, a qual permite avaliar e determinar o erro amostral do modelo escolhido e ajustado para o semivariograma. Tal processo é possível devido as análises via estipulação dos dados de observações reais e estimadas (SANTOS et al., 2020).

A interpolação dos dados influi na maior precisão dos mapas dos solos, através da estimativa de pontos não amostrados, com base na densidade obtida pelos pontos amostrados por área, o que equivale à intensidade amostral e a distância entre os pontos amostrados (CORÁ e BERALDO, 2006; CARDOSO et al., 2016). A geoestatística corrobora com a organização e dependência espacial dos dados, para que a estimação dos pontos não amostrados seja realizada com o emprego da técnica de krigagem, onde se torna possível otimizar a previsão dos dados de forma precisa e eficaz (VIEIRA et al., 2010; VELÁZQUEZ et al., 2021).

Quando se obtém o ajuste dos modelos com base nos valores de pontos amostrados e criação de pontos estimados, é possível realizar o mapeamento e/ou espacialização de atributos do solo, por exemplo, para frações granulométricas (GELAIN et al., 2021). A partir daí, a interpretação dos mapas de solo com maior precisão possibilita identificar as diferenças e/ou uniformidades granulométricas, de modo a reforçar as tomadas de decisão quanto aos sistemas de manejo e uso do solo (GREGO et al., 2014).

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A área experimental situa-se no município de Ceres-GO, na Unidade de Pesquisa em cana-de-açúcar, propriedade em parceria entre o Instituto Federal Goiano – Campus Ceres com a Usina CRV Industrial de Carmo do Rio Verde-GO, entre as coordenadas geográficas 15°20'42" Sul e 49°36'19" Oeste com 561 m de altitude. O clima segundo a classificação de Köppen é definido como Tropical Úmido (Aw), constando temperaturas elevadas, estações bem definidas, caracterizadas pelo inverno ameno e seco e verão quente e chuvoso (CARDOSO et al., 2014). O solo da área de estudo é classificado como LATOSSOLOVERMELHO Distrófico (MARQUES et al., 2019), inserido na formação geológica Complexo Barro Alto.

A cultura de cana-de-açúcar foi implantada (reforma) em abril de 2018, com a adoção do manejo convencional do solo, com as cultivares RB92579 e SP 801816. A área experimental foi constituída pelas dimensões 285 x 60 m, com o total de 1,71ha (Figura 1). A área recebeu "irrigação de salvamento", fornecida por autopropelido com aplicação de 60 mm de água.

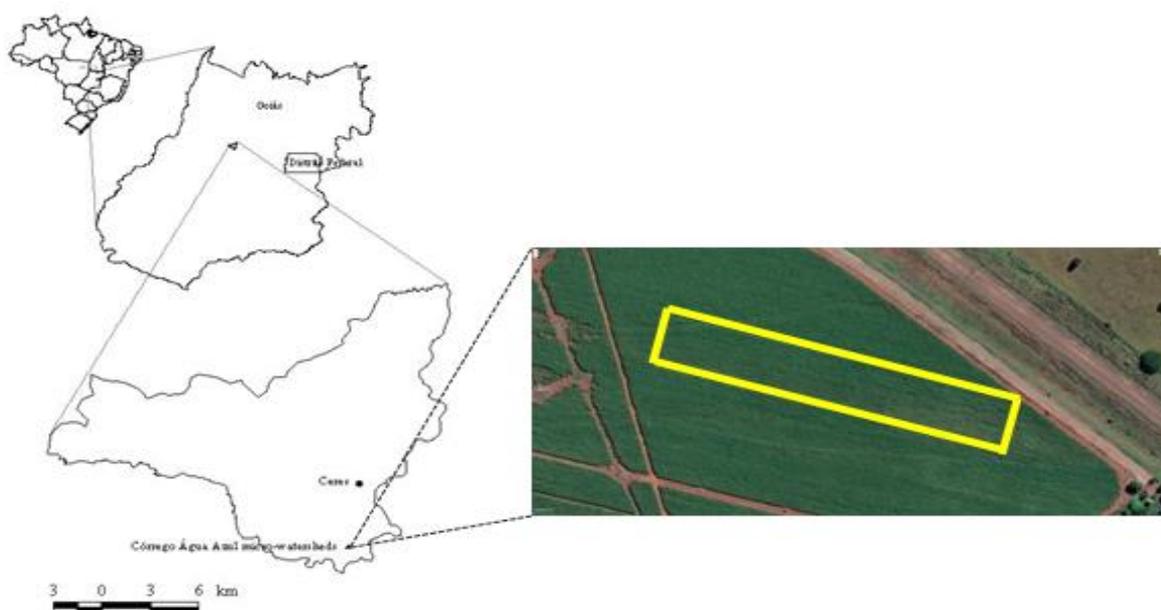


Figura 1 - Localização da área experimental.

Fonte: Google Maps, com modificações.

Amostragem de solo

Para a amostragem do solo da área, utilizou-se malha amostral com o espaçamento entre os pontos de 15 x 15 m, totalizando 100 pontos (Figura 2). Alguns pontos da malha amostral foram georreferenciados com utilização de GPS de precisão e calculadas e transportadas coordenadas de precisão para todos os demais pontos da malha. A determinação das coordenadas geográficas foi realizada no Sistema Universal Transverse Mercator (UTM), para a realização das medidas lineares.

Com base na amostragem do solo, realizou-se a coleta de amostras compostas com estruturas deformadas nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm em cada ponto da malha amostral. A característica física estudada foi a análise granulométrica a qual foi determinada pelo método da pipeta, com a dispersão de solo em hidróxido de sódio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ analisado de acordo com a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

Posteriormente, foi determinada a argila dispersa em água (ADA). A determinação da ADA seguiu os mesmos passos da determinação da granulometria (com dispersão de física e química), exceto, a utilização dispersante químico (NaOH a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$), sendo adicionado apenas 50 ml de água destilada para agitação mecânica. As amostras, tanto para argila total quanto argila natural foram submetidas à agitação mecânica com movimentos orbitais com 180 oscilações por minuto durante 15 minutos, e seguido de repouso por 12 horas e nova agitação por igual período da primeira.

Logo após os processos de coleta, análise laboratorial e tabulação dos dados, realizou-se a estatística descritiva com o cálculo de média, desvio padrão, variância, moda, mediana, máximo e mínimo, curtose e normalidade, processadas pelo uso do programa SISVAR 5.1 (FERREIRA, 2011). Com base nas coordenadas geográficas de cada ponto, determinou-se a planilha referente aos valores de cada atributo físico.

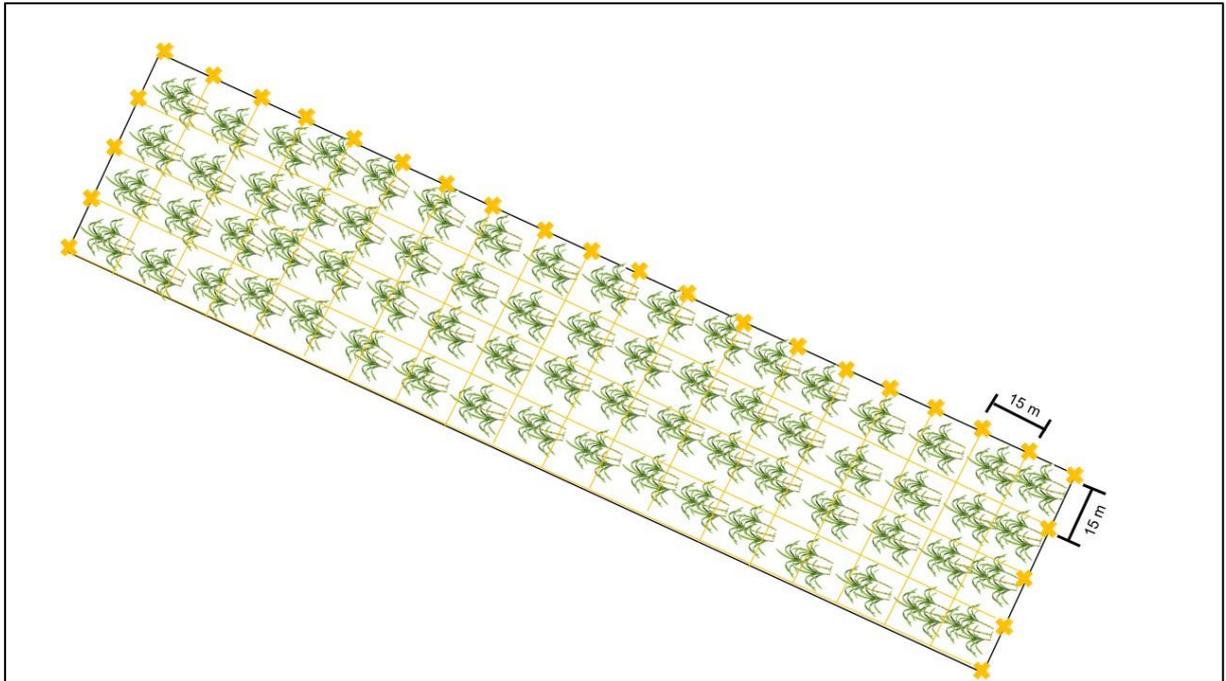


Figura 2 - Croqui do delineamento experimental utilizado na área.

Fonte: Arquivo pessoal, 2021.

Geoestatística: Ajuste, seleção e validação de semivariogramas

Com o uso de técnicas de geoestatística para a avaliação da variabilidade espacial e a confecção de mapas de ocorrência de manchas de solo, realizou-se a análise referente a dependência espacial dos pontos, através da semivariância ($\gamma(h)$) apresentada na equação 1, (VIEIRA e LOMBARDI NETO, 1995). Os dados foram processados pelo software *Gamma Design Software 7.0 – GS+* (GDS, 2004) via determinação dos modelos: linear, gaussiano, exponencial, esférico e efeito pepita puro.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

$\gamma(h)$: semivariância estimada a uma distância h ;

$N(h)$: número de pares de valores $[Z(x_1), Z(x_1 + h)]$ separados por um vetor h ;

x_i : posição espacial da variável Z , e

Z : $Z(x_i)$ o valor da propriedade Z na localização x_i , no espaço.

Para a determinação do modelo mais adequado aos dados, utilizaram-se como parâmetros, os dados referentes à menor soma do quadrado dos resíduos

(SQR) e ao maior coeficiente de determinação (R^2). Foram avaliadas as condições de anisotropia/isotropia, com o intuito de averiguar o melhor ajuste do semivariograma. Nos semivariogramas ajustados, os parâmetros foram constituídos pelo patamar ($C_0 + C$), alcance da dependência espacial (a) e o efeito pepita (C_0). Os modelos dos semivariogramas ajustados foram submetidos a técnica de validação por meio do processo de validação cruzada, de acordo com Isaaks e Srivastava (1989) utilizando os parâmetros: coeficiente de determinação (R^2), erro padrão (SE) e coeficiente de regressão (CR).

Após a obtenção dos semivariogramas experimentais, determinou-se o índice de dependência espacial (IDE), o qual define a razão entre o efeito pepita (C_0) e o patamar (C_0+C), dada em porcentagem, que classifica o resultado em dependência espacial forte ($IDE < 0,25$), moderada $0,25 < IDE < 0,75$ e fraca ($> 0,75$), conforme a equação 2 (CAMBARDELLA et al., 1994).

$$IDE = \frac{C_0}{(C_0+C)} \quad \text{(Equação 2)}$$

Com o auxílio da krigagem ordinária, realizou-se a interpolação dos dados para os pontos não amostrados, via uso de 64 vizinhos. Em seguida a interpolação dos dados por krigagem da variável física avaliada, foi realizado o mapeamento dos solos em estudo, via utilização do software *Gamma Design Software 7.0 – GS+* (GDS, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estatística Descritiva

Na Tabela 2, estão descritos os parâmetros de tendência central, dispersão e assimetria para os dados de granulometria da área estudada.

Tabela 2. Estatística descritiva para dados granulométricos com dispersão total e argila dispersa em água, em LATOSSOLO VERMELHO, localizado em área experimental da Unidade de Pesquisa em Cana-de-Açúcar (CRV/IF Goiano – Campus Ceres), município de Ceres (GO).

Prof. (cm)	Média	Mediana	Mín.	Máx.	DP	CT	AS	CV	KS
Argila total (Dispersão em NaOH 0,1 M)									
0-20	490,20	494,50	367,10	578,30	47,97	-0,13	-0,39	9,78	0,07<0,72 ^N
20-40	523,16	534,50	411,70	628,80	50,51	-0,64	-0,34	9,66	0,10<0,26 ^N
Areia (Dispersão em NaOH 0,1 M)									
0-20	333,17	328,35	239,20	457,10	41,81	0,32	0,42	12,55	0,07<0,75 ^N
20-40	305,08	304,95	220,60	377,00	31,46	0,16	-0,36	10,31	0,08<0,56 ^N
Silte (Dispersão em NaOH 0,1 M)									
0-20	176,63	173,55	85,90	300,00	40,19	1,21	0,87	22,75	0,10 < 0,25 ^N
20-40	171,71	160,35	95,70	288,30	43,12	-0,29	0,50	25,10	0,12>0,09 ^A
Argila natural (Dispersão em H₂O)									
0-20	43,24	39,40	0,00	174,40	39,32	0,95	1,09	90,94	0,15 > 0,02 ^A
20-40	37,52	29,40	1,60	234,00	37,28	8,45	2,30	99,34	0,17 > 0,01 ^A

Prof.: Profundidade; DP: Desvio padrão; CT: Curtose; AS: Assimetria; CV: Coeficiente de variação; KS:Kolmogorov-Smirnov; A:Distribuição assimétrica; N: Distribuição normal.

O conteúdo de argila variou de 367,1 a 578,3 g kg⁻¹ com média de 490,20 para a camada de 0-20 cm, e para a camada de 20-40 cm variou de 411,17 a 628,8 com média de 523,16 g kg⁻¹, sendo classificado como argiloso para ambas as camadas de acordo com SANTOS et al. (2018). O teor de argila apresentou incremento de 6,7% em profundidade o que é pouco significativo em termos pedológicos, ou seja, pequeno gradiente textural confirmado pelo fato de o solo pertencer à ordem dos LATOSSOLOS. Os teores de silte e areia tenderam em diminuir em detrimento do aumento de argila total em profundidade conforme esperado.

A argila natural apresentou médias de 43,25 e 37,52 g kg⁻¹ para as camadas de 0-20 e 20-40 cm respectivamente. Ao contrário dos resultados com dispersão em NaOH, o atributo argila natural mostrou resultados mais distantes entre média e mediana para as duas camadas avaliadas, e valores de assimetria mais distantes de zero. Isso indica a distribuição assimétrica dos dados, confirmada pela análise de Kolmogorov-Smirnov, o que denota a não aleatoriedade do desvio padrão e a média não apresenta estimativa confiável de tendência central.

A tendência da fração argila em se dispersar em água é um fenômeno que pode ocorrer naturalmente devido à atividade da argila ou pode ser promovido pela ação antrópica (FAGUNDES et al., 2021), como aplicações excessivas de calcário superficial e ou vinhaça da indústria sucroalcooleira como fertirrigação (SORIA et al., 2019), perda de matéria orgânica e salinização do solo.

Os dados de coeficiente de variação %CV apresentaram-se baixos para os dados de granulometria com dispersão química (NaOH) com exceção de silte, e muito altos para argila natural.

De acordo com Souza et al. (2004) por se tratar de atributo com maior estabilidade, os teores de argila total geralmente apresentam baixa variação e menores coeficientes de variação (CV%). Contudo, os elevados CV (%) obtidos na dispersão de argila natural, nas profundidades de 0-20 cm (90,94%) e 20-40 cm (99,34%), indicam alta variabilidade dos dados de argila nessa condição (SHECHTMAN, 2013).

A menor eficácia na dispersão de argila em água para ambas as profundidades avaliadas pode ser explicada pelo fato de que a argila contida nos agregados de solo apresentar agentes cimentantes e flocculantes, os quais dificultam o processo de dispersão (FACHI e VIEIRA, 2018).

Análises dos semivariogramas ajustados

De acordo com os parâmetros do ajuste experimental e semivariogramas para os atributos granulométricos avaliados, as variáveis areia, argila total e argila natural tiveram dependência espacial forte para ambas as camadas de solo avaliadas, enquanto, para o silte, a dependência foi moderada (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros do ajuste experimental e do teste de validação para atributos os físicos de LATOSSOLO VERMELHO solo sob cultivo de cana-de-açúcar em Ceres (GO)

AJUSTE DE SEMIVARIOGRAMA										VALIDAÇÃO CRUZADA		
Atributo	Prof. (cm)	Modelo	C0	C0 + C	Alcance	R ²	SQR	IDE	GDE	SE	R ²	CR
Argila total	0 - 20	GAU	277,00	1690,00	23,38	0,70	6,08E ⁴	0,16	Forte	0,20	0,19	0,94
	20 - 40	EXP	592,00	2662,00	67,20	0,93	1,03E ⁵	0,22	Forte	0,18	0,31	1,00
Silte	0 - 20	ESF	722,00	1540,00	191,90	0,90	6,85E ⁴	0,47	Moderado	0,22	0,20	1,04
	20 - 40	EXP	1054,00	3100,00	150,00	0,91	4,07E ⁶	0,34	Moderado	0,18	0,30	-0,97
Areia	0 - 20	ESF	307,00	1468,00	55,00	0,83	1,18E ⁵	0,21	Forte	0,12	0,35	0,73
	20 - 40	EXP	81,00	934,00	57,60	0,91	1,74E ⁴	0,09	Forte	0,23	0,26	1,12
Argila natural	0 - 20	ESF	15,00	802,00	25,70	0,36	6,02E ⁴	0,02	Forte	0,24	0,37	1,71
	20 - 40	ESF	1,00	678,30	22,20	0,23	3,2E ⁴	0	Forte	0,36	0,15	1,44

Prof.: Profundidade; C0:Efeito pepita; C0+C:Patamar; A0: Alcance (m); R²: Coeficiente de determinação; SQR: Soma de quadrados dos resíduos; IDE: índice de dependência espacial -GDE: Grau de dependência espacial; SE: Erro padrão; CR: Coeficiente de regressão; GAU: Gaussiano; EXP: Exponencial; ESF: Esférico.

Os coeficientes de determinação (R²) dos modelos (semivariogramas) foram relativamente altos exceto para argila natural. Resultados análogos aos obtidos no presente estudo, foram observados por Santos et al. (2018), onde as frações de areia e argila total apresentaram forte dependência espacial, em contrapartida, o silte obteve dependência espacial moderada. A variabilidade das frações de areia e argila é geralmente atribuída ao material de origem do solo e a intensidade de intemperismo (SANTOS et al., 2018b).

Em relação à profundidade de 0-20 cm, para as frações granulométricas o modelo ajustado aos dados foi esférico, com exceção da fração de argila total, com o modelo gaussiano. Ainda no mesmo contexto, na profundidade de 20-40 cm para todos os atributos avaliados (argila total, silte e areia) o modelo exponencial foi o que melhor se ajustou aos dados com exceção de argila natural o qual foi o esférico. O alcance na profundidade de 0-20 cm do solo variou de 23,38m para argila total a 191,6 m para silte. Na profundidade de 20-40 cm, o menor alcance foi de 22,2 m para argila natural, e o maior, de 150,0 m para silte.

Quanto à validação cruzada, observa-se que os coeficientes de determinação (R^2) da validação não foram altos. Analisando o erro padrão (SE), quanto menor o esse índice dos ajustes mais precisa é a resposta estimada para pontos não amostrados. O erro padrão (SE) dos atributos avaliados apresentaram resultados próximos de zero, o que indica validação dos modelos estimados para pontos não amostrados.

Mapas de Iso-ocorrência

Analisando-se o parâmetro de argila total, na profundidade de 0-20 cm

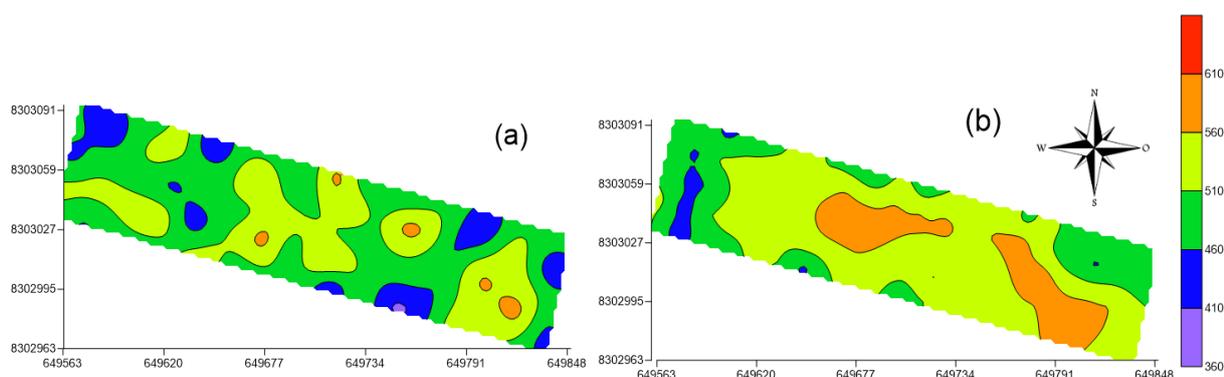


Figura 3 - Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar argila total ($g\ kg^{-1}$) nas camadas de 0-20 cm (a) e 20-40 cm (b) em LATOSSOLO VERMELHO em Ceres (GO).

Conforme apresentado na figura 3, observa-se que a classe 460 a 510 $g\ kg^{-1}$ de argila foi predominante seguido da classe 510 a 560 $g\ kg^{-1}$ e pequenas manchas de 410 a 460 $g\ kg^{-1}$. Mesmo com essas variações toda a área se encontra dentro da mesma classificação textural (360 a 600 $g\ kg^{-1}$) que é a argilosa. Na profundidade de 20-40 cm a classe 510 e 560 $g\ kg^{-1}$ de argila predominou na área de estudo possuindo essas intrusões de duas manchas centrais de 560 e 610 $g\ kg^{-1}$. A oeste da área ocorreu a classe 410 e 460 $g\ kg^{-1}$. BARRETO et al. (2019) trabalhando com essa mesma classe de solo também encontraram incremento de argila em profundidade.

Quanto ao atributo silte na camada de 0-20 cm de solo, a área se mostrou com maior uniformidade desse atributo que para argila total, ocorrendo 3 classes de valores. No entanto, a classe 160 a 200 g kg⁻¹ ocupou praticamente toda a área. No centro da área, principalmente na camada de 20-40 cm ocorreu mancha com menor teor de silte (120 a 160g kg⁻¹) que pode estar relacionado ao maior teor de argila nesse mesmo local (Figura 4).

Esses resultados foram concordantes com os de Leão et al. (2016), que atribuíram a distribuição espacial de menores teores de silte ao intenso processo de intemperismo dos solos. Isso ocorre devido ao processo de dessilicação, comum em LATOSSOLOS VERMELHOS, o que provoca a maior concentração de argilominerais e reduz o teor de silte, oriundo de minerais primários menos resistentes.

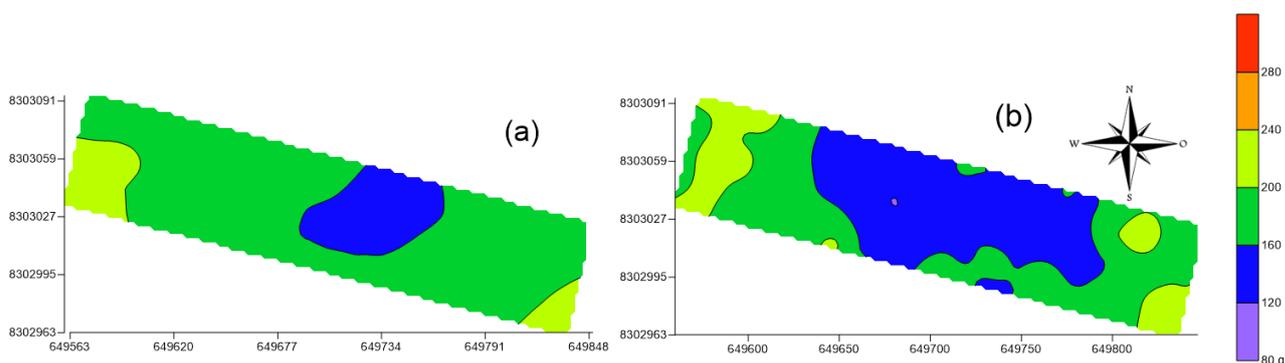


Figura 4 - Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar silte (g kg⁻¹) nas camadas de 0-20 cm (a) e 20-40 cm (b) em LATOSSOLO VERMELHO em Ceres (GO).

Analisando o teor de silte na camada de 0-20 cm verificou-se que a classe 160 a 200 g kg⁻¹ ocupa praticamente toda a área. Na camada de 20-40 cm houve predomínio de ocorrência de área com a classe de 120 a 160 g kg⁻¹ na parte central de leste a oeste (Figura 5), seguida da classe 160 a 200 g kg⁻¹ nas bordas da área. Esses resultados seguiram a tendência do silte, que diminuiu em profundidade (Figura 5).

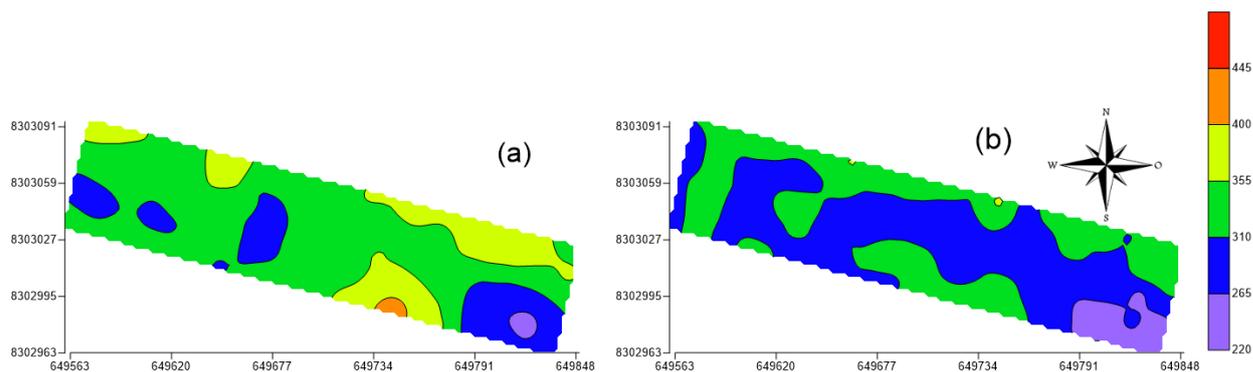


Figura 5 - Mapas usando interpolação por krigagem para caracterizar areia (g kg^{-1}) nas camadas de 0-20 cm (a) e 20-40 cm (b) em LATOSSOLO VERMELHO em Ceres (GO).

Segundo Schossleret al. (2019) o mapeamento das frações granulométricas viabiliza maior previsibilidade às atividades agrícolas assim como na produção sucroalcooleira.

Quanto ao mapa de espacialização de argila natural, tanto na camada de 0-20 cm quanto na de 20-40 cm foi possível observar grande heterogeneidade nesse atributo na área de estudo e com certa similaridade na distribuição espacial entre as camadas. Tais resultados explicam os elevados valores de coeficientes de variação (CV%) obtidos (Tabela 2).

Na camada de 0-20 cm houve tendência de equilíbrio em termos de área a ocorrência de 3 classes que vão de 0 a 56 g kg^{-1} (Figura 6). Na camada de 20-40 cm isso tende a ocorrer, porém a classe 15-35 g kg^{-1} ocupa maior área.

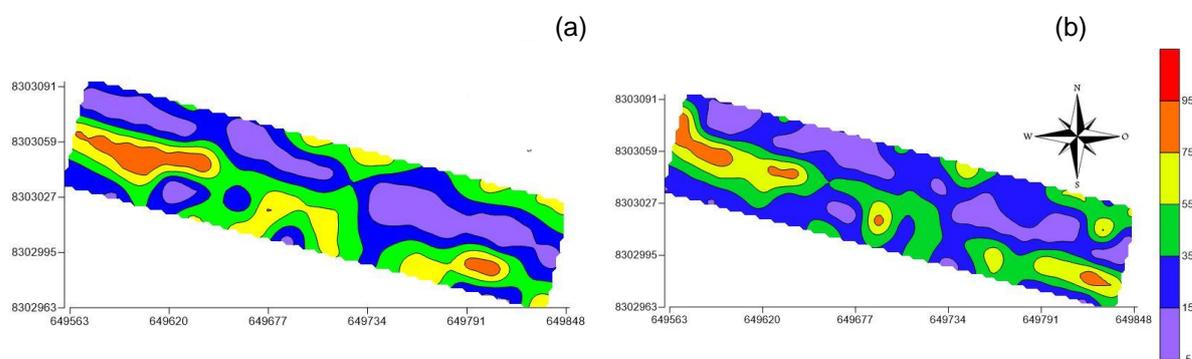


Figura 6. Mapas de dispersão de argila natural (g kg^{-1}) em água, nas camadas de 0-20 cm (a) e 20-40 cm (b) em LATOSSOLO VERMELHO em Ceres (GO).

A variabilidade observada nas classes de argila natural está provavelmente relacionada à variação da estabilidade dos agregados do solo. Isso ocorre geralmente devido ao processo de perda de matéria orgânica, devido às pressões externas, como a queima da palhada (até 2018), práticas de preparo convencional do solo e uso continuado de corretivos (calcário e gesso), os quais otimizam o processo de decomposição do material orgânico disponível e provocam alterações indesejáveis na estrutura do solo (GRAVINA et al., 2021; MARTINI et al., 2021).

O mapeamento geoestatístico do solo se demonstra como uma alternativa preditiva sobre as características granulométricas, pois além de ampliar a acurácia na tomada de decisão do manejo do solo, promove a redução de custos e alavanca o potencial tecnológico na agricultura, como no setor sucroalcooleiro, advindo de análises de interpolação e mapeamentos geoestatísticos da variabilidade espacial granulométrica (PELLIN et al., 2015; REZA et al., 2016).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os atributos granulométricos avaliados apresentam dependência espacial de grau forte e moderado o que indica que a interpolação geoestatística é adequada para interpolar dados e gerar mapas.

O *grid* amostral previamente utilizado no estudo foi adequado para detectar a dependência espacial dos atributos estudados podendo ser utilizados em estudos futuros na área *grid* de 22 m.

A área de estudo apresenta maior uniformidade espacial para silte na camada de 0-20 cm e na camada de 20-40 cm para os demais atributos granulométricos com dispersão química.

O conhecimento da distribuição espacial de argila na área serve de subsídio para tomadas de decisões no manejo do solo e manutenção da fertilidade como adubação com fósforo e gessagem que utilizam o teor de argila como parâmetro.

REFERÊNCIAS

- AARTHI, R.; SIVAKUMAR, D. An enhanced agricultural data mining technique for dynamic soil texture prediction. **Procedia Computer Science**, v. 171, n. 1, p. 2770-2778, 2020.
- ABNT NBR 6502 (1995). Rochas e Solos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, RJ-Brasil.
- AJAYI, A. E.; DIAS JUNIOR, M.; CURI, N.; OKUNOLA, A.; SOUZA, T. T.; PIRES, B. S. Assessment of vulnerability of fofixolst to compaction in the cerrado region of Brazil. **Pedosphere**, v. 20, n. 2, p. 252-260, 2010.
- ALMEIDA, B. G.; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BRAIDA, J. A.; VIANA, J. H. M. ...; TEIXEIRA, W. G. **Padronização de Métodos para Análise Granulométrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2012 (Comunicado técnico 66). 11 p.
- ANDRADE, R.; SILVA, S. H. G.; FARIA, W. M.; POGGERE, G. C.; BARBOSA, J. Z.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N. Proximal sensing applied to soil texture prediction and mapping in Brazil. **Geoderma Regional**, v. 23, n. 1, p. 1-11, 2020.
- ARAÚJO, A. M. S. S.; MENEZES, A. S.; ALENCAR, T. L.; SILVA, C. P.; ASSIS JUNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; MOTA, J. C. A. Tensile strength in horizons with and without cohesive character: Variability and relation with granulometry. **Catena**, v. 166, p. 290-297, 2018.
- ARAÚJO, D. C. D. S.; MONTENEGRO, S. M.; MONTENEGRO, A. A. D. A.; SILVA, V. D. P.; SANTOS, S. M. D. Spatial variability of soil attributes in an experimental basin in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 38-44, 2018b.
- BAHIA, A. S. R. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; SCALA, N.; CERRI, C. E. P.; CAMARGO, L. A. Prediction and mapping of soil attributes using diffuse reflectance spectroscopy and magnetic susceptibility. **Soil Science Society of America Journal**, v. 81, n. 6, p. 1450-1462, 2017.
- BARBALHO, M. G.; LEAL, A. C.; NUNES, J. O. R.; MORAES, C. G.; CASTRO PEIXOTO, J. Unidades da paisagem da bacia do Rio das Almas, microrregião de Ceres/GO. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, v. 1, n. 10, p. 153-166, 2018.
- BARRETO, A. B.; TAVARES, D. D.; SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; MARTINS, A. F.; PEREIRA, W. E. Argila dispersa em água e grau de floculação de um LATOSSOLO sob gramíneas no Brejo da Paraíba (Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 7, n. 3, p. 1-10, 2019.
- BARTON, C. D.; KARATHANASIS, A. D. **Clay minerals**. (2002). In: Rattan Lal, comp., ed. *Encyclopedia of Soil Science*. New York, New York: Marcel Dekker, p. 187-192.

BITENCOURT, D. G. B.; BARROS, W. S.; TIMM, L. C.; SHE, D.; PENNING, L. H.; PARFITT, J. M. B.; REICHARDT, K. Multivariate and geostatistical analyses to evaluate lowland soil levelling effects on physico-chemical properties. **SoilandTillageResearch**, v. 156, n. 1, p. 63-73, 2016.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. **Bulk Density**. In: KLUTE, A. *Methods of soil analysis – physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, ASA - SSSA, 1986. p.363-375.

BREVIK, E. C.; CALZOLARI, C.; MILLER, B. A.; PEREIRA, P.; KABALA, C.; BAUMGARTEN, A.; JORDÁN, A. Soil mapping, classification, and pedologic modeling: History and future directions. **Geoderma**, v. 264, n. 1, p. 256-274, 2016.

CAMARGO, L. J.; SANTOS, K. R. O avanço do cultivo de cana-de-açúcar no município de Ceres (GO). **Linguagens do Cerrado**, v. 6, n. 1, p. 1-26, 2016.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CAMÊLO, D. D. L.; KER, J. C.; FONTES, M. P. F.; CORRÊA, M. M.; COSTA, A. C. S. D.; MELO, V. F. Pedogenic iron oxides in iron-rich Oxisols developed from mafic rocks. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, n. 1, p. 1-16, 2017.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta Geográfica**, v. 8, n. 16, p. 40-55, 2014.

CARDOSO, G. G. G.; WANDERLEY, R. C.; SOUZA, M. L. C. Physical attributes of a pasture soil in southeast Goiás determined by geostatistics. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 1, p. 143-151, 2016.

CENTENO, L. N.; GUEVARA, M. D. F.; CECCONELLO, S. T.; SOUSA, R. O.; TIMM, L. C. Textura do solo: Conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 31-37, 2017.

CERRI, D. G. P.; MAGALHÃES, P. S. G. Correlation of physical and chemical attributes of soil with sugarcane yield. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 613-620, 2012.

CHEN, S.; ARROUAYS, D.; MULDER, V. L.; POGGIO, L.; MINASNY, B.; ROUDIER, P.; WALTER, C. Digital mapping of Global Soil Map soil properties at a broad scale: A review. **Geoderma**, v. 409, n. 1, p. 1-21, 2021.

CHERUBIN, M. R.; FRANCO, A. L. C.; CERRI, C. E. P.; SILVA OLIVEIRA, D. M.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Sugarcane expansion in Brazilian tropical soils—Effect of land use change on soil chemical attributes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 211, n. 1, p. 173-184, 2015.

COMINO, J. R.; VICENTE, M. L.; KUMAR, V.; SEIJO, A. R.; VALKÓ, O.; ROJAS, C.; PANAGOS, P. Soil science challenges in a new era: A transdisciplinary overview of relevant topics. **Air, Soil and Water Research**, v. 13, n. 1, p. 1-17, 2020.

CONDAPPA, D.; GALLE, S.; DEWANDEL, B.; HAVERKAMP, R. Bimodal zone of the soil textural triangle: common in tropical and subtropical regions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, n.1, p. 1-8, 2008.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 2, p. 374-387, 2006.

COSTA, R. X.; FRAZÃO, J. J.; MACHADO, R. L.; PEREIRA, D. R. M.; NASCIMENTO, L. M.; OLIVEIRA, A. P. S.; MARQUES, V. S. Land-Use Change and the Chemical and Physical Properties of an Oxisol in the Brazilian Cerrado. **Journal of Agricultural Science**, v. 12, n. 9, p. 1-11, 2020.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. D. P.; MONTANARI, R.; ANDREOTTI, M. Sugarcane productivity correlated with physical-chemical attributes to create soil management zone. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, p. 706-714, 2013.

DEMATTÊ, J. A.; DOTTO, A. C.; PAIVA, A. F.; SATO, M. V.; DALMOLIN, R. S.; SOCORRO, B. M.; COUTO, H. T. Z. The Brazilian Soil Spectral Library (BSSL): A general view, application and challenges. **Geoderma**, v. 354, n. 1, p. 1-21, 2019.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G.; RUIZ, H. A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B. A. **Análise granulométrica**. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). Manual de Métodos de Análise de Solo. Embrapa, Brasília, DF, 2017. p. 95–116.

EMMERICH, K.; WOLTERS, F.; KAHR, G.; LAGALY, G. Clay Profiling: The classification of montmorillonites. **Clays and Clay Minerals**, v. 57, n. 1, p. 104-114, 2009.

FACHI, S. M.; VIEIRA, M. L. A duração da dispersão física altera o resultado da análise granulométrica? **Unoesc & Ciência-ACET**, v. 9, n. 1, p. 7-14, 2018.

FAGUNDES, M. O.; REIS, D. A.; PORTELLA, R. B.; PERINA, F. J.; BOGIANI, J. C. Quality index of a Oxisol under different management systems in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 5, p. 319-324, 2021.

FEITOSA, C. E.; COSTA, P. H. D. S.; MENESES, K. C. D.; OLIVEIRA, U. C. D.; FARIAS, M. F. D. Changes in physical quality of oxisols under different management systems in the Brazilian Cerrado. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 5, p. 609-616, 2020.

FERNANDES, R. B. A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M. P. F. Quantificação de óxidos de ferro de LATOSSOLOS brasileiros por espectroscopia de refletância difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 245-257, 2004.

FERREIRA, D. F.; SISVAR: A computerstatisticalanalysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, L. C. G.; SOBRINHO, F. L. A. A dinâmica canavieira na microrregião Ceres, Goiás: das colônias agrícolas nacionais ao agronegócio sucroenergético. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 39, p. 146-175, 2017.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I.; MORETI, T.; CARMO, D. Avaliação de atributos químicos e físicos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 1-13, 2013.

GELAIN, E.; BOTTEGA, E. L.; MOTOMIYA, A. V. A.; MARIN, C. K.; OLIVEIRA, Z. B. Dependência e correlação espacial dos atributos de solo em função do arranjo amostral. **Tecno-Lógica**, v. 25, n. 1, p. 145-172, 2021.

GRANADOS, F. L.; EXPÓSITO, M. J.; BARRAGÁN, J. M. P.; TORRES, L. G. Usinggeostatisticsalandremotesensing approaches for mapping soilproperties. **EuropeanJournalofAgronomy**, v. 23, n. 3, p. 279-289, 2005.

GRAVINA, O. S.; SANTOS, G. G.; CORRECHEL, V.; SILVA, G. C. D.; MEDRADO, L. D. C.; FLORES, R. A.; SEVERIANO, E. D. C. Physical attributes of ferralsol in fertigated sugarcane production environments for bioethanol in the midwest of Brazil. **Agronomy**, v. 11, n. 8, p. 1-11, 2021.

GREGO, C.R.; OLIVEIRA, R.P.; VIEIRA, S.R. **Geoestatística aplicada a agricultura de precisão**. In: BERNARDI, A.C.C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A.V.; BASSOI, L.H.; INAMASU, R.Y. (Ed.). Agricultura de precisão: Resultados de um novo olhar. Brasília: Embrapa, 2014. p.74-83.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, M. R. **Appliedgeostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989, 561p.

JESUS, M. C.; BRITO, A. S.; SILVA, M. O.; TEIXEIRA, S. S.; CARVALHO, W. D. Permeabilidade ao ar e porosidade de solos na região semiárida. **Revista Engenharia na Agricultura-Reveng**, v. 25, n. 3, p. 230-239, 2017.

KER, J. C. LATOSSOLOS do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, v. 5, n. 1, p. 17-40, 1997.

KLEIN, V. A.; MADALOSSO, T.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; VEIGA, M. D.; ALBUQUERQUE, J. A.; PAULETTO, E. A. Metodologias de controle de qualidade de análises granulométricas do solo. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 850-853, 2013.4

KOME, G. K.; ENANG, R. K.; TABI, F. O.; YERIMA, B. P. K. Influenceofclaymineralson some soilfertilityattributes: a review. **Open JournalofSoil Science**, v. 9, n. 9, p. 155-188, 2019.

LATAWIEC, A. E.; REID, B. J.; RODRIGUES, A. F.; PENA, I. A.; GOMES, F.; PACHECO, V.; STRASSBURG, B. B. More effort is needed to implement and

disseminate soil protection measures for tropical soils. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 11, p. 1-6, 2021.

LEÃO, T. P. ParticlesizedistributionofOxisols in Brazil. **Geoderma Regional**, v. 7, n. 2, p. 216-222, 2016.

LEENA, H. U.; PREMASUDHA, B. G.; PANNEERSELVAM, S.; BASAVARAJA, P. K. Pedometric mapping for soilfertility management—A case study. **Journalofthe Saudi Society ofAgriculturalSciences**, v. 20, n. 2, p. 128-135, 2021.

LEHMANN, P.; LESHCHINSKY, B.; GUPTA, S.; MIRUS, B. B.; BICKEL, S.; LU, N.; OR, D. Clays are notcreatedequal: Howclay mineral typeaffectssoilparameterization. **GeophysicalResearchLetters**, v. 48, n. 20, p. 1-10, 2021.

LIMA, J. S. S.; BONA, D. A. O.; FIEDLER, N. C.; PEREIRA, D. P. Distribuição espacial das frações granulométricas argila e areia total em um LATOSSOLOVERMELHO-amarelo. **Revista Árvore**, v. 38, n. 3, p. 513-521, 2014.

MARQUES, V. S.; CEDDIA, M. B.; ANTUNES, M. A.; CARVALHO, D. F.; ANACHE, J. A.; RODRIGUES, D. B.; OLIVEIRA, P. T. S. USLE K-factor methodselection for a tropical catchment. **Sustainability**, v. 11, n. 7, p. 1-17, 2019.

MARTINI, A. F.; VALANI, G. P.; BOSCHI, R. S.; BOVI, R. C.; SILVA, L. F. S.; COOPER, M. Issoilquality a concern in sugarcane cultivation? A bibliometric review. **SoilandTillageResearch**, v. 204, n. 1, p. 1-8, 2020.

MARTINI, A. F.; VALANI, G. P.; SILVA, L. F. S. D.; BOLONHEZI, D.; PRIMA, S. D.; COOPER, M. Long-term trial of tillage systems for sugarcane: effect on topsoil hydrophysical attributes. **Sustainability**, v. 13, n. 6, p. 1-13, 2021.

MAURI, J.; RUIZ, H. A.; FERNANDES, R. B. A.; KER, J. C.; REZENDE, L. R. M. Dispersantes químicos na análise granulométrica de LATOSSOLOS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1277-1284, 2011.

MELO, V. F.; FONTES, M. P. F.; NOVAIS, R. F.; SINGH, B.; SCHAEFER, C. E. G. R. Características dos óxidos de ferro e de alumínio de diferentes classes de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 19-32, 2001.

MENDES, W. D. S.; NETO, L. G. M.; DEMATTÊ, J. A.; GALLO, B. C.; RIZZO, R.; SAFANELLI, J. L.; FONGARO, C. T. Is it possible to map subsurface soil attributes by satellite spectral transfer models?. **Geoderma**, v. 343, n. 1, p. 269-279, 2019.

MENEZES, A. S.; ALENCAR, T. L.; ASSISJÚNIOR, R. N.; TOMA, R. S.; ROMERO, R. E., COSTA, M. C. G.; MOTA, J. C. A. Functionality of the porous network of Bt horizons of soils with and without cohesive character. **Geoderma**, v. 313, n. 1, p. 290-297, 2018.

MENTGES, M. I.; REICHERT, J. M.; RODRIGUES, M. F.; AWE, G. O.; MENTGES, L. R. Capacityandintensitysoilaerationpropertiesaffectedbygranulometry, moisture, andstructure in no-tillagesoils. **Geoderma**, v. 263, n. 1, p. 47-59, 2016.

MOLIN, J. P.; TAVARES, T. R. Sensor systems for mapping soil fertility attributes: Challenges, advances, and perspectives in Brazilian tropical soils. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 1, p. 126-147, 2019.

NANNI, M. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; RODRIGUES, M.; SANTOS, G. L. A. A. D.; REIS, A. S.; OLIVEIRA, K. M. D.; SUN, L. Mapping Particle Size and Soil Organic Matter in Tropical Soil Based on Hyperspectral Imaging and Non-Imaging Sensors. **Remote Sensing**, v. 13, n. 9, p. 1-19, 2021.

NUNES, M. R.; VAZ, C. M.; PESSOA, T. N.; DENARDIN, J. E.; KARLEN, D. L.; GIAROLA, N. F.; LIBARDI, P. L. Inherent and dynamic effects on the structural stability of Brazilian Oxisols. **Geoderma Regional**, v. 27, n. 1, p. 1-8, 2021.

OLIVEIRA, V.; SANTOS, H. G.; RIOS, A.; JACOMINE, P.; PEREZ, D.; ARAÚJO, W. S.; CALDERANO, S. (2004). **Reunião de Correlação, Classificação e Aplicação de Levantamentos de Solos da Região Centro-Oeste: RCC-GO/MT**. Embrapa Solos: Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 104p.

OLIVEIRA, F. S.; VARAJÃO, A. F. D. C.; VARAJÃO, C. A. C.; BOULANGÉ, B.; COSTA, J. L. G.; VESSANI, L. A. Alteração supergênica e morfogênese tropical no complexo máfico-ultramáfico acamadado de Barro Alto, GO. **Geociências**, v. 28, n. 3, p. 255-272, 2009.

OLIVEIRA, B. R.; ANTÔNIO, G. B. Modelagem geoestatística aplicada a geologia de engenharia. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 73, n. 1, p. 1-8, 2017.

OLIVEIRA, N. C.; PASCHOAL, A. R.; PAULA, R. J.; CONSTANTINO, I. C.; BISINOTI, M. C.; MOREIRA, A. B.; PAULA, A. J. Morphological analysis of soil particles at multiple length-scales reveals nutrient stocks of Amazonian Anthrosols. **Geoderma**, v. 311, n. 1, p. 58-66, 2018.

OLIVEIRA, J. C.; CUNHA, L. L.; MARQUES, S. C.; NEVES, J. P. Estudo do Comportamento de quatro solos argilosos do município de Goiânia com base na Classificação Expedita MCT. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 1642-1650, 2020.

PAIVA, L. B.; MORALES, A. R.; DÍAZ, F. R. V. Argilas organofílicas: características, metodologias de preparação, compostos de intercalação e técnicas de caracterização. **Cerâmica**, v. 54, n. 330, p. 213-226, 2008.

PAIVA, I. A.; RITA, Y. L.; CAVALIERI-POLIZELI, K. M. Knowledge and use of visual soil structure assessment methods in Brazil—A survey. **Soil and Tillage Research**, v. 204, n. 1, p. 1-5, 2020.

PELLIN, D. M. P.; MONTANARI, R.; LIMA, E. D. S.; LOVERA, L. H.; CORRÊA, A. R. Variabilidade de atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 28-38, 2015.

PEREIRA, P.; BREVIK, E. C.; OLIVA, M.; ESTEBARANZ, F.; DEPELLEGRIN, D.; NOVARA, A.; MENSHOV, O. (2017). **GoalOrientedSoil Mapping**. In: Soil Mapping and Process Modeling for Sustainable Land Use Management, p. 61–83.

PINHEIRO JUNIOR, C. R.; PEREIRA, M. G.; SILVA NETO, E. C.; ANJOS, L. H. C.; FONTANA, A. **Solos do Brasil: gênese, classificação e limitações ao uso**. In: RIBEIRO, J. C. (org.). Ciências Exatas e da Terra: Conhecimentos estratégicos para o desenvolvimento do país. Ponta Grossa: Atena, 2020. cap. 15, p. 183-199.

REZA, S. K.; NAYAK, D. C.; CHATTOPADHYAY, T.; MUKHOPADHYAY, S.; SINGH, S. K.; SRINIVASAN, R. Spatial distribution of soil physical properties of alluvial soils: a geostatistical approach. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 62, n. 7, p. 972-981, 2016.

RIBEIRO, K. D.; SOUZA, L. K. Limites de Atterberg e sua correlação com a granulometria e matéria orgânica dos solos. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 2, p. 185-196, 2018.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte+ argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 297-300, 2005.

SANTOS, V. R.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, C. G.; SANTOS, M. A. L.; CUNHA, J. L. X. L. Contribuição de argilominerais e da matéria orgânica na CTC dos solos do estado de Alagoas. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 1, p. 27-36, 2009.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBREBAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018. 355p.

SANTOS, D. P.; MONTENEGRO, A. A.; RODRIGUES, R. A. S.; ARAUJO, D. C. S.; SANTOS, C. S. CRUZ NETO, J. F. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em vale aluvial na região de Pernambuco. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 1, p. 2271, 2018b.

SANTOS, K. F.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; SOUZA WERNER, R.; WOLSCHICK, N. H.; MUSEKA, L. M. Granulometry and Stability of Aggregates in Different Land Uses in the Santa Catarina Plateau of Southern, Brazil. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 35, n. 4, p. 1-6, 2019.

SANTOS, N. G. N.; OLSZEWSKI, N.; SALVIANO, A. M.; CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; PEREIRA, J. S. Granulometric fractions and physical-hydric behavior of sandy soils. **Agrarian**, v. 12, n. 45, p. 318-327, 2019b.

SANTOS, M. L.; COMPAGNON, A. M.; NETO, A. M. P.; ARRIEL, F. H.; CINTRA, P. H. M. Variabilidade espacial das propriedades físicas do solo em primeiro ano de colheita de cana-de-açúcar. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 27667-27682, 2020.

SCHAEFER, C. E. G. R.; FABRIS, J. D.; KER, J. C. Minerals in the clay fraction of Brazilian Latosols (Oxisols): A review. **Clay Minerals**, v. 43, n. 1, p. 137-154, 2008.

SCHOSSLER, T. R.; MANTOVANELLI, B. C.; ALMEIDA, B. G.; FREIRE, F. J.; SILVA, M. M.; ALMEIDA, C. D. G. C.; FREIRE, M. B. G. S. Geospatial variation of physical attributes and sugarcane productivity in cohesive soils. **Precision Agriculture**, v. 20, n. 6, p. 1274-1291, 2019.

SENA, N. C.; VELOSO, G. V.; FERNANDES-FILHO, E. I.; FRANCELINO, M. R.; SCHAEFER, C. E. G. Analysis of terrain attributes in different spatial resolutions for digital soil mapping application in southeastern Brazil. **Geoderma Regional**, v. 21, n. 1, p. 1-12, 2020.

SHECHTMAN O. **The coefficient of variation as an index of measurement reliability**. In: *Methods of Clinical Epidemiology*. Springer Series on Epidemiology and Public Health. Berlin; Heidelberg: Springer (2013). p. 39-49.

SILVA, M.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L.; OLIVEIRA, J.; FREITAS PEREIRA, D.; SILVA COSTA, K. D. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.

SILVA, S. H. G.; WEINDORF, D. C.; PINTO, L. C.; FARIA, W. M.; ACERBI JUNIOR, F. W.; GOMIDE, L. R.; CURTI, N. Soil texture prediction in tropical soils: A portable X-ray fluorescence spectrometry approach. **Geoderma**, v. 362, n. 1, p. 1-8, 2020b.

SILVEIRA, C. S.; LAGOEIRO, L.; CAVALCANTE, C.; TAUFNER, R.; BARBOSA, P. F.; SUITA, M. T. F.; CONTE, T. Deformation mechanisms and seismic anisotropy in lower crustal rocks from the Barro Alto Complex, Central Brazil. **Tectonophysics**, v. 819, n. 1, p. 1-16, 2021.

SORIA, J. E.; TROLEIS, M. J. B.; ALVES, M. R.; MONTANARI, R.; ANDREOTTI, M. Influência do teor de argila nas relações entre os atributos químicos de solos no Noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Cultura Agrônômica**, v. 28, n. 1, p. 111-122, 2019.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial da textura de um LATOSSOLO VERMELHO eutrófico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 309-319, 2004.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 40, n. 1, p. 48-56, 2010.

SOUZA, Z. M. D.; SOUZA, G. S. D.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo. **Ciência Rural**, v. 44, n. 2, p. 261-268, 2014.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (2017). **Manual de métodos de análise do solo**. 3ª ed. Brasília: Embrapa, 573 p.

UGARTE, J. F. O.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. VERMICULITA. IN: LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. **Rochas & Minerais Industriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. Cap.32, p.677-698.

VELÁZQUEZ, M. J. A.; VARGAS, N. A. G.; CAMPOS, X. P.; RIVERA, M. B.; GUZMAN, L.R. Spatialestimationof fundamental modedispersion curves usinggeostatisticaltechniques. **GeophysicalJournalInternational**, v. 228, n. 3, p. 1946-1961, 2021.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 54, n. 1, p. 405-412, 1995.

VIEIRA, S. R.; CARVALHO, J. R. P.; GONZÁLEZ, A. P. Jack knifing for semivariogramvalidation. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 97-105, 2010.