

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO
PRÓ-REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-
HÍDRICOS DO SOLO EM ÁREA IRRIGADA

Autor: Elisa Parreira Darim
Orientador: D.Sc. Roriz Luciano Machado
Coorientador: D.Sc. Válder dos Santos Marques

CERES – GO
Agosto – 2017

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO
PRÓ-REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-
HÍDRICOS DO SOLO EM ÁREA IRRIGADA

Autor: Elisa Parreira Darim
Orientador: D.Sc. Roriz Luciano Machado
Coorientador: D.Sc. Válter dos Santos Marques

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO no Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Irrigação no Cerrado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres- (Tecnologia de Irrigação).

CERES – GO

Agosto – 2017

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

DEL43v Darim, Elisa
Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo em área irrigada / Elisa Darim; orientador Roriz Luciano Machado; co-orientador Válter dos Santos Marques. -- Ceres, 2017.
104 p.

Dissertação (Graduação em Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado) -- Instituto Federal Goiano, Câmpus Ceres, 2017.

1. Física do solo. 2. Irrigação. 3. Geoestatística.
I. Machado, Roriz Luciano, orient. II. dos Santos Marques, Válter, co-orient. III. Título.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

**Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo em
área irrigada**

Autor: Elisa Parreira Darim
Orientador: Prof. Dr. Roriz Luciano Machado

TITULAÇÃO: Mestre em Irrigação no Cerrado - Área de Concentração:
Irrigação

APROVADA em 31 de agosto de 2017.


Prof. Dr. João Maurício Fernandes Souza
Avaliador externo
Univévangélica - Anápolis


Prof. Dr. Elis Dener Lima Alves
Avaliador interno
IF Goiano - Campus Ceres


Prof. Dr. Roriz Luciano Machado
(Orientador)
IF Goiano - Campus Ceres

Agosto – 2017
CERES - GO

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano pela oportunidade de cursar esse mestrado e por oferecer todos os recursos disponíveis para amparar meu trabalho.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado por sempre estarem dispostos a sanar as dúvidas e o problemas encontrados ao longo do caminho.

Ao Laboratório de Solos do IF Goiano - Campus Ceres por abrir suas portas para a realização de todas as análises de solo e a técnica do laboratório Ana Paula Santos Oliveira por toda a ajuda na realização das análises de matéria orgânica do solo.

Ao meu orientador, Roriz Luciano Machado, pela orientação.

Aos colegas de turma, que proporcionaram aprendizado, empatia, companheirismo e carinho, e essas coisas são maiores do que qualquer academicismo.

Ao professor de Geoestatística no curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Goiás (UFG) no Campus Catalão, Paulo Elias, que com uma dose extra de paciência, usou seu tempo, conhecimento e boa vontade para me ensinar a usar o programa SgeMS.

Ao Prof. Dr. Elis Dener Lima Alves que ajudou no aprendizado do software GS+ para que os semivariogramas e mapas pudessem criar forma.

Aos alunos de graduação Raphael Xavier, João Paulo Souza, Jefferson Kran, Frank Cabral, João Carlos, servidor Ângelo Adão de Lima e sua equipe, prof. Dr. Válder Marques que que contribuíram na etapa de coleta de dados do trabalho.

Agradeço aos amigos que o Pedro trouxe para minha vida.

Ao Élio Silva e a Valéria Leal, que além de sempre me receberem com o maior carinho, ainda mandavam uma marmitinha para eu trazer para Itapaci.

Aos meus avós, que com muito afeto nunca deixaram de perguntar sobre “o tal do curso lá em Ceres” mesmo sem entender muito.

Ao Lineu Darim Silva que me acompanhou na reta final do mestrado, me ajudando, me atrapalhando e assistindo todas as minhas apresentações prévias.

DEDICATÓRIA

Dedico essa felicidade e todas as outras que compuseram minha vida até agora à amabilidade recebida do coração materno mais justo do qual se pode ter a honra de ser filha. Dedico ao meu pai, que com falta de tato e as melhores intenções que o amor proporciona, sempre faz tudo pelo meu melhor. Dedico ao meu irmão, que me ensinou tudo o que sei sobre ambição.

Aos meus poucos amigos, que nem sabem disso (ou sabem), mas que disseram, em algum momento, o argumento pontual para que eu estivesse aqui da melhor forma possível. Tê-los é como explodir a solidão que às vezes pousa em mim, vocês são meus companheiros de vida!

Ao Pedro, que com paciência foi aos poucos me transformando numa pessoa melhor, tanto do ponto de vista da profissão quanto do coração.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Elisa Parreira Darim, natural de Goiânia – GO, nascida no dia 26 de março de 1990, filha de Cristina C. P. Darim e Renato J. Darim e irmã de Renato P. Darim.

Iniciou sua formação acadêmica no segundo semestre de 2008 na Universidade Federal de Uberlândia no curso de Agronomia, onde cursou os quatro primeiros semestres. Como resultado de um novo vestibular e aproveitamento de matérias, voltou para Goiânia e continuou a cursar Agronomia na Universidade Federal de Goiás, onde terminou o curso em agosto de 2014.

Entre 2015 e 2017 cursou o Mestrado Profissional em Irrigação no Cerrado, submetendo-se à defesa em agosto de 2017. Trabalha na Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária (EMATER) na Unidade Local de Pilar de Goiás.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	168
2. REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1. Solos Sob Irrigação	20
2.2. Classificação do Solo	21
2.3. Textura do Solo	22
2.4. Densidade do Solo.....	25
2.5. Densidade de Partículas	28
2.6. Porosidade Total.....	29
2.7. Matéria Orgânica.....	30
2.8. Taxa de Infiltração Estabilizada (TIE).....	32
2.9. Geoestatística Aplicada ao Estudo do Solo.....	34
3. MATERIAL E MÉTODOS	39
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1 Análise Estatística Descritiva dos Dados Físico-Hídricos do Solo.....	44
4.2 Análise dos Semivariogramas Selecionados para os Atributos Avaliados	48
4.3 Classificação do Solo e Análise da Espacialização dos Atributos Físico-Hídricos	54

5. CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXOS	82

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Análise exploratória dos dados	46
Tabela 2. Classes de permeabilidade do solo segundo USDA (1951).....	48
Tabela 3. Índice de dependência espacial e classificação segundo Zimback (2001). ...	53

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Vista da área do pivô central experimental do IF Goiano - Campus Ceres - GO.....	39
Figura 2. a) Croqui dos pontos amostrais georreferenciados; e b) altimetria da área experimental com curvas a cada 10 cm de declividade.	40
Figura 3. Área do estudo dividido em quadrantes (Fonte: Google Earth com modificações).....	41
Figura 4. Semivariogramas experimentais ajustados (Modelo teórico; Co - efeito pepita; Co+C - patamar; Ao - alcance; r - índice de determinação).	53
Figura 5. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar argila (g kg^{-1}) na profundidade de 0 - 10 cm	56
Figura 6. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar argila (g kg^{-1}) na profundidade de 10 - 20 cm	56
Figura 7. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar areia (g kg^{-1}) na profundidade de 0 - 10 cm	57
Figura 8. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar areia (g kg^{-1}) na profundidade de 10 - 20 cm	57
Figura 9. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar silte (g kg^{-1}) na profundidade de 0 - 10 cm	58
Figura 10. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar silte (g kg^{-1}) na profundidade de 10 - 20 cm	58
Figura 11. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar densidade do solo em kg dm^{-3} na profundidade de 0 - 10 cm	59

Figura 12. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar densidade do solo em kg dm^{-3} na profundidade de 10 - 20 cm	60
Figura 13. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar densidade de partículas em kg dm^{-3} na profundidade de 0 - 10 cm.....	61
Figura 14. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar densidade de partículas em kg dm^{-3} na profundidade de 10 - 20 cm.....	61
Figura 15. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar porosidade total em % na profundidade de 0 - 10 cm	62
Figura 16. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar porosidade total em % na profundidade de 10 - 20 cm	63
Figura 17. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar matéria orgânica em g kg^{-1} na profundidade de 0 - 10 cm	64
Figura 18. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar matéria orgânica em g kg^{-1} na profundidade de 10 - 20 cm.....	64
Figura 19. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar taxa de infiltração aos 19 min. em mm h^{-1}	65

RESUMO

DARIM, ELISA PARREIRA. Instituto Federal Goiano – Campus Ceres – GO, Agosto, 2017. Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo em área irrigada. Orientador: D.Sc. Roriz Luciano Machado. Coorientador: D. Sc. Válter dos Santos Marques.

A otimização do uso da água de irrigação é uma tarefa que envolve uma série de variáveis. O conhecimento de informações sobre a área, solo, implementos e cultura são utilizados no manejo de irrigação. A geoestatística é uma ferramenta de destaque no manejo de irrigação pois auxilia na caracterização do solo gerando informações para irrigação mais acurada. O objetivo desse trabalho foi determinar e espacializar atributos físico-hídricos e de matéria orgânica do solo em área irrigada por pivô central no IF Goiano – Campus Ceres – GO. A área de estudo foi amostrada em 8 transectos espaçados 45° entre si, e com 9 metros entre pontos nos transectos nas profundidades 0 a 10 cm e 10 a 20 cm. Os atributos avaliados foram: argila (ARG), areia (ARE), silte (SIL), matéria orgânica do solo (MOS), densidade do solo (Ds), densidade de partículas (DP), porosidade total (PT) e taxa de infiltração aos 19 minutos (TI19). Analisou-se na estatística exploratória valores de máximo, mínimo, média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação (%CV), curtose, assimetria e testes de normalidade Shapiro-Wilk e Komorogov-Smirnov. Os variogramas foram calculados e posteriormente ajustados a modelos teóricos e, em seguida, validados pela técnica de validação cruzada. A interpolação dos atributos que apresentaram variabilidade espacial foi feita por Krigagem. A análise exploratória indicou grande amplitude dos dados TI19, o que levou a um alto %CV. O mesmo ocorreu para silte. Apenas argila, Ds, PT e MOS na profundidade de 10 a 20 cm, obtiveram distribuição normal. A Ds apresentou em média acima do nível de compactação do solo. Todos os atributos avaliados mostraram de moderada a forte dependência espacial e obtiveram ajustes prioritariamente aos modelos gaussiano e exponencial. Os atributos

areia e silte na profundidade de 10 a 20 cm não apresentaram alcance, indicando homogeneidade do solo. A taxa de infiltração aos 19 minutos indica correlação com argila e porosidade total. A geoestatística mostrou-se adequada no estudo de características físico hídricas na área irrigada por pivô central. O estudo mostra que há desuniformidade nas características físico-hídricas do solo, e isso deve ser considerado no planejamento do manejo de irrigação e implantação de experimentos.

Palavras-chave: física do solo, irrigação, geoestatística

ABSTRACT

DARIM, ELISA PARREIRA. Federal Goiano Institute - Campus Ceres - GO, August, 2017. Spatial variability of soil physical-hydric attributes in irrigated area. Advisor: D.Sc. Roriz Luciano Machado. Joint supervisor: D. Sc. Válter dos Santos Marques.

The optimization of irrigation water use is a task that involves a series of variables. The knowledge about the soil, soil, implements and culture are used on irrigation management. Geostatistics is a prominent tool on irrigation management because it helps in detailing the characteristics of an area, making it more accurate. The objective of this work was to determine and spatialize physical-hydric attributes and soil organic matter in a central pivot irrigated area at the Goiano IF - Campus Ceres - GO. The study area was sampled in 8 transects spaced 45° apart, and 9 meters between points at depths 0 to 10 cm and 10 to 20 cm. The evaluated attributes were: clay (ARG), sand (ARE), silt (SIL), soil organic matter (SOM), soil density (DS), particle density (PD), total porosity (TP) and infiltration rate at 19 minutes (TI19). The values of maximum, minimum, average, median, standard deviation, variance, coefficient of variation (% CV), kurtosis, asymmetry and normality tests were analyzed in the exploratory statistic Shapiro-Wilk and Komorogov-Smirnov. The variograms were calculated and later adjusted to theoretical models and then validated by the cross validation technique. The attributes interpolation was krigagem and presented spatial variability. The exploratory analysis indicated large amplitude of the TI19 data, which led to a high % CV. The same happened to silt. Only clay, Ds, Pt and MOS in depth of 10 to 20 cm obtained normal distribution. The Ds was on average above the level of soil compaction. All the evaluated attributes showed moderate to strong spatial dependence and obtained adjustments to the gaussian and exponential. The attributes sand and silt in the depth of 10 to 20 cm did not present range, indicating soil homogeneity. The infiltration rate at 19 minutes indicates

correlation with clay and total porosity. Geostatistics was adequate on the study of physical-hydric characteristics in irrigated area by central pivot. The study shows that there is unevenness in the physical-hydric characteristics of the soil, which can be useful in planning irrigation management and experiments implementation.

Key words: soil physics, irrigation, geostatistics

1. INTRODUÇÃO

A busca por uma agricultura sustentável é o grande desafio da produção de alimentos. A produção intensiva pode ser uma boa saída pois evita o desmatamento e a degradação social de várias culturas. A agricultura irrigada é o maior usuário dos recursos hídricos no Brasil, e é importante que esse recurso seja utilizado com parcimônia, cautela e que seja devolvido para a natureza o mais parecido possível com a forma em que foi obtido.

Para incremento da eficiência da irrigação, existe a técnica da geoestatística, que é fundamental para a economicidade das ações de mecanização, manejo das culturas, solo e irrigação. Após conhecido o comportamento espacial, é possível monitorar características ligadas à preservação da estrutura do solo, fertilização adequada e manejo cultural adaptado.

A geoestatística é uma técnica muito atual, no entanto a amostragem é o processo mais trabalhoso e também a maior fonte de erros. A amostragem é o fator fundamental pois a partir da distância amostral pode haver ou não dependência espacial. Com amostragem rigorosa, a geoestatística poderá ser aplicada aos pontos cujas coordenadas são georreferenciadas, e assim, a obtenção da estrutura da variância com amarração espacial das propriedades físico-hídricas do solo para classificação e mapeamento da área. No entanto, o processo de amostragem é trabalhoso para obtenção de dados para aplicação em geoestatística. De início não se dispõe de um padrão de distância amostral o qual só é possível perceber se a amostragem representa bem ou não a área amostral no momento da aplicação da geoestatística, ou seja, entre os últimos processos.

As características físico-hídricas no solo influenciam muito todo o processo da agricultura e de manejo. A classificação do solo é de extrema importância para conhecimento da pedologia do solo, material de origem, apenas dessa forma poder-se-á explicar como o solo se comporta diante de certos tipos de manejo, além de evidenciar a aptidão agrícola de certa área. A textura do solo é uma característica pouco mutável ao

longo do tempo, principalmente em áreas tidas como planas. Essa característica do ponto de vista da irrigação é indispensável pois dita o comportamento do solo ao manejo e ao suprimento de água e da própria fertilidade. A densidade de partículas também é pouco mutável pois depende de fatores como textura e matéria orgânica do solo. É o peso específico do solo, o que depende dos minerais de origem, a areia por exemplo aumenta a densidade de partículas e a argila reduz.

A densidade do solo é uma característica facilmente alterada pelo manejo e influenciam muito o crescimento e desenvolvimento radicular, já que o principal diagnóstico de compactação do solo é o aumento da densidade do solo. A porosidade do solo é o fator também muito influenciado pelo manejo, são os poros do solo que armazenam a água que será absorvida pelas raízes das culturas e também armazena o ar, que é utilizado para a respiração das raízes das plantas. O teor de matéria orgânica é um fator agregante, que influencia fortemente os fatores físicos do solo e aumenta a capacidade de troca de cátions.

A taxa de infiltração mede a velocidade de infiltração da água no solo até que ela se estabilize. Essa amostragem é trabalhosa, mas para irrigação é essencial pois somente a partir do conhecimento desses dados sabe-se quanto água consegue ser absorvida por determinado solo por unidade de tempo. Isso é fundamental para o manejo do turno de rega.

A hipótese do trabalho é que existe variabilidade espacial das características físico-hídricas na área de estudo e o seu conhecimento pode ser útil na tomada de decisão quanto ao manejo de irrigação e instalação de experimentos na área. A fim de verificar a hipótese, esse trabalho teve como objetivo realizar a determinação e espacialização de atributos físico-hídricos e de matéria orgânica do solo em área irrigada por pivô central no IF Goiano - Campus Ceres.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2. 1. Solos Sob Irrigação

A irrigação é usada não somente como uma luta contra a falta de água nas lavouras. Atualmente ela possui outros focos, como o empresarial e do agronegócio como uma ferramenta de incremento produtivo e de lucro, gerando cadeias de produção dependentes da irrigação. Essa cadeia só existe porque a irrigação apresenta muitas vantagens produtivas, dentre elas a possibilidade de se plantar durante o ano todo, o que conseqüentemente, aumenta a produtividade, o uso de culturas mais rentáveis, a geração de emprego, de renda e investimento reduzido quando comparado a outros setores (Bernardo et al., 2013).

O Brasil está entre os dez países com maior área irrigada. Os maiores irrigantes do mundo são a China e Índia, com cerca de 70 milhões de hectares (Mha) cada, seguidos dos EUA (26,7 Mha), do Paquistão (20,0 Mha) e do Irã (8,7 Mha). O Brasil está no grupo dos países que apresentam irrigação entre 4 e 7 Mha (ANA, 2016).

O sistema de aspersão por pivô central é um dos sistemas de irrigação mais usados no Brasil, com 19892 equipamentos ocupando 1,275 milhões de hectares (ANA, 2016). Goiás possui cerca de 3502 pivôs, ocupando uma área total de 237365,60 ha (IMB, 2017). Em maioria, os pivôs apresentam altos níveis de automatização, fácil operação e grande dimensão em área irrigada. Apesar de possuir uniformidade de aplicação média de 90% (Schmidt et al, 2004), áreas aparentemente homogêneas podem apresentar grande variabilidade espacial em propriedades do solo relacionadas ao armazenamento de água (Gonçalves, 1999). Há grande perspectiva de aumento do uso da irrigação localizada e pivô central até o ano de 2030 segundo ANA (2017). Segundo dados de 2015 da Agência

Nacional de Águas, a região que possui maior área irrigada é a Região Sul (24,45), seguido pelo Sudeste (39%), Centro-Oeste (17%), Nordeste (16,8%) e Norte (2,8%). Segundo a mesma fonte, há um incremento muito grande na produção com o uso da irrigação, a produção de arroz aumenta cerca de 3 vezes, o feijão aumenta em uma vez e meia e o trigo dobra sua produção aproximadamente.

Para incremento em qualidade e sustentabilidade da irrigação, várias tecnologias têm sido aplicadas. Uma delas é a irrigação de precisão, que visa usar métodos e sistemas mais eficientes na aplicação e no uso da água, justificando a aplicação de água em taxas variadas já que comumente os pivôs ocupam grandes extensões. Existem na literatura, duas formas principais de aplicação à taxas variáveis. Uma delas é realizada por pulsos de funcionamento de aspersores alternando períodos de irrigação. A outra se dá pelo estabelecimento de lâminas pré-configuradas (King & Kincaid, 2004).

Ao decidir pela taxa variada de aplicação, surge a necessidade de dados que afetam a irrigação, como pressão de operação de aspersores, diâmetro de gota e retenção de água no solo para avaliação se haverá ou não escoamento superficial (Rodrigues et al., 2001). Segundo Armindo (2009), as principais justificativas para aplicação à taxas variáveis estão relacionadas à economia de insumos (incluindo a água) para obtenção de um mesmo nível de produtividade.

Os solos são sistemas complexos e afetados pelos mais diversos fatores, por isso, o conhecimento de como suas características físicas podem afetar a irrigação tem atraído a atenção de pesquisadores visando otimizar o uso da água, nutrientes, mão-de-obra, equipamentos, etc.

2.2. Classificação do Solo

Segundo Santos et al. (2013), o solo possui seções paralelas, organizadas em camadas que diferem do material rochoso de origem. Essas camadas formadas são resultado de adições, perdas, translocações e transformações de energia e matéria que ocorrem ao longo do tempo auxiliado por fatores do clima, organismos, relevo e ações antrópicas. Um solo classificado auxilia em decisões de manejo, como adubação, profundidade de trabalho, mas principalmente de aptidão agrícola.

Para realizar a classificação do solo segundo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SiBCS) utilizam-se propriedades morfológicas, físicas, químicas e

mineralógicas. O SiBCS (2013) baseia-se na forma de um sistema de categorias múltiplas com estrutura hierárquica descendente, onde as categorias são subdivididas sucessivamente em classes de acordo com características que as diferem. Esse sistema é composto por seis níveis categóricos, sendo eles respectivamente: ordens, subordens, grandes grupos, subgrupos, famílias e séries (Santos et al., 2015).

A classificação do solo é o primeiro passo para o uso sustentável do mesmo, pois o solo deve ser manejado de forma a evidenciar seus pontos positivos e corrigir os pontos negativos. Mas não só o solo, várias outras características também vão determinar o melhor manejo, como a declividade, que potencializa ou serve de impedimento à mecanização, acesso ao local, vegetação, suscetibilidade à erosão, suprimento de água e etc. (Lepsch et al., 1983).

A classificação do solo auxilia na definição da aptidão agrícola do solo. Embora a aptidão do solo não leve em consideração aptidão econômica, financeira ou mercadológica, a sua definição visando obter classes homogêneas de terra para definir sua máxima capacidade de uso sem risco de degradação do solo, principalmente em relação à erosão acelerada é de visível importância para a sustentabilidade da cadeia agrária brasileira (Martinez et al., 2009).

2.3. Textura do Solo

A textura é caracterização da fase mineral sólida do solo, diferenciada pelo tamanho dos grãos existentes no solo, que são areia, silte e argila. Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (*United States Department of Agriculture – USDA*) as argilas são as frações menores que 0,002 mm; silte são as partículas entre 0,002 e 0,05 mm; areia muito fina de 0,05 a 0,10 mm; areia fina de 0,10 a 0,20 mm; areia grossa de 0,5 a 1,0 mm; e areia muito grossa de 1,0 a 2,0 mm. Já a Sociedade Internacional de Ciência do Solo (*Internacional Society of Soil Science – ISSS*) é um pouco mais generalista e define como argila os grãos menores que 0,002 mm; silte de 0,002 a 0,02 mm; areia fina de 0,02 a 0,2 mm e areia grossa de 0,2 a 2,0 mm.

A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo define textura basicamente por quatro classes de tamanhos de partículas menores que 2 mm: areia grossa – 2 a 0,2 mm, areia fina – 0,2 a 0,05 mm, silte – 0,05 a 0,002 mm e argila – menor do que 0,002 mm (Santos et al., 2015).

As frações de areia e silte podem ser confundidas com migroagregados, devido a ação dos agentes cimentantes do solo, unindo partículas menores (Verheye, 1984). Por essa razão na análise granulométrica existem pré-tratamentos (EMBRAPA, 2011) com a função de retirar os agentes cimentantes, como os íons flocculantes e sais solúveis que podem afetar a dispersão e suspensão das partículas.

Normalmente a areia é constituída de minerais primários como quartzo, feldspato e agregados minerais com argilas. A areia possui poder de retenção baixo para água e substâncias dissolvidas e isso se dá pela maior dimensão das partículas e consequentemente menor superfície específica. É um grão solto, áspero, quase não possui plasticidade ou pegajosidade (Lepsch, 2016). O silte constitui-se normalmente por minerais primários e secundários, de material ferruginoso e calcário, agregados de quartzo e argila ou somente argila. Possuem considerável poder de retenção de água, poros intermediários e a penetração de água no solo é dificultada, ligeira coesão, pouco pegajosa a plasticidade quando úmida (Reinert & Reichert, 2006) As argilas são constituídas por óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro e argilas silicatadas. Possui grande superfície específica, é plástica, pegajosa quando úmida e dura e coesa quando seca, além de alta capacidade de troca de cátions, isso gera grande influência nas propriedades químicas e físicas do solo (Sampaio, 2006).

A partir da quantidade de cada fração granulométrica presente nos sólidos do solo, é possível classificar esse solo nos grupamentos texturais, que são definidos como solos de textura arenosa, média, argilosa e muito argilosa. Enquanto as classes texturais são definidas com o auxílio do triângulo textural, com a possibilidade de 13 classes que são: 1) arenosa; 2) areia franca; 3) franco-arenosa; 4) franca; 5) franco-siltosa; 6) silte; 7) franco-argilo-arenosa; 8) franco-argilosa; 9) franco-argilo-siltosa; 10) argilo-arenosa; 11) argilo-siltosa; 12) argilosa; 13) muito argilosa (Santos et al., 2015).

As características texturais influenciam muito no manejo adotado. Em solos arenosos por exemplo, o tamanho dos poros é maior, por isso a taxa de infiltração é alta mas a taxa de retenção é baixa por causa da menor capacidade de troca de cátions. Esses fatores afetam o manejo pois a suscetibilidade à erosão é maior, portanto, práticas de conservação do solo devem ser adotadas. A lixiviação e a volatilização excessiva também são fatores que sugerem parcelamento na aplicação de alguns nutrientes (principalmente potássio e nitrogênio). Como os colóides do solo arenosos possuem menos adsorção, ao se aplicar herbicidas a dosagem pode ser menor quando comparado aos solos argilosos (Alcarde et al., 1998).

Na caracterização de um solo de textura média devem ser reduzidas as práticas de cultivo convencional como arações e gradagens em relação a solos argilosos devido a maior suscetibilidade a erosão e lixiviação, essa redução das operações agrícolas acaba por reduzir o curto produtivo. No caso de compactação é recomendada a subsolagem apenas quando constatada a compactação pois é um processo que também atua desagregando o solo, além da possibilidade de gerar compactação abaixo da camada subsolada, gasto energético para tracionar o subsolador, desgaste e redução da vida útil do trator, depreciação e gastos com manutenção de máquinas e implementos, reduzindo a lucratividade (Rosa et al., 2011).

Solos argilosos e muito argilosos possuem altos valores de retenção de água no solo. Como possuem maior aderência, pegajosidade e plasticidade, a entrada de máquinas e implementos em momento de alta umidade do solo pode ser um grande problema. Solos argilosos são menos susceptíveis à erosão mas são mais susceptíveis a compactação (Prado, 1991).

A proporção das partículas do solo não é uma característica que se altere com facilidade ou rapidez no tempo, por isso é considerada uma característica básica do solo (Brady, 1983) e por isso essa análise não precisa ser repetida a cada safra junto à análise de fertilidade do solo.

Em relação à geostatística, a textura é fundamental para um manejo preciso das áreas agrícolas (Grego & Vieira, 2005) e a variação espacial dessas características depende de vários fatores, como a deposição de sedimentos; cultura; relevo; tempo de exposição ao intemperismo (Young & Hammer, 2000); e do manejo e tipo de cultivo aplicado.

O alcance, dentro da geostatística, são os dados que permitem a avaliação da distância máxima de dependência espacial, e a partir desse dado, a amostragem pode ser melhor ajustada. Para amostras que distem entre si além do alcance são consideradas homogêneas do ponto de vista da geostatística, o que determina o uso da estatística descritiva clássica (Yamamoto & Landim, 2013).

Em trabalho realizado para avaliação de variabilidade espacial da textura do solo em área de pivô central (Castione et al., 2015) em Cristalina, Goiás, em malha amostral de 10 metros, o alcance para argila foi de 41,40 m na profundidade de 0-10 cm; 52,20 m de 10-20 cm; e 51,60 m na profundidade de 20-30 cm. Esse resultado mostra que a camada superior é mais homogênea nesse caso e o alcance menor, por isso, as amostragens devem ser mais próximas entre si. Segundo a conclusão apresentada pelos

autores, a migração das partículas seguiu o fluxo de água no terreno, condicionado pela declividade.

Segundo Leão et al. (2010), em trabalho realizado em Latossolo Vermelho sob cultivo de citros amostrada em malha com intervalos regulares de 50 m. O estudo de semivariogramas mostrou que não há direção preferencial para os atributos granulométricos. Na profundidade de 0-20 cm o alcance para argila foi de 310 m enquanto na profundidade de 60 a 80 cm o alcance para o teor de argila foi de 371 m. Segundo os autores, o menor alcance da camada de 0-20 cm pode indicar possível efeito do manejo da cultura. A cultura de *citrus* por ser perene também indica pouco revolvimento.

Na cultura da cana-de-açúcar, em malha de 50 m em trabalho realizado por Souza et al. (2004a) no município de Guariba em São Paulo, foi encontrada variabilidade espacial de grau moderado para argila, silte, areia total, areia grossa, areia média, areia fina e areia muito fina. Os maiores alcances, no entanto, foram encontrados na profundidade de 0-20 cm, justificando maior homogeneidade na profundidade de 60-80 cm.

2.4. Densidade do Solo

A densidade do solo é a razão entre a massa de solo seca e o volume ocupado pela mesma. Diferentemente da densidade de partículas, neste caso a massa do solo inclui tudo o que está presente nele, como os poros do solo (Carter, 1993).

A densidade do solo é variável conforme o manejo, contrariamente a atributos como textura e densidade de partículas. Fatores que podem alterar a densidade do solo são a textura e a estrutura do solo. No caso da estrutura do solo, o principal fator é o manejo. Já a textura influencia porque solos argilosos são menos densos que os arenosos, tanto pelo material de origem quanto pela organização dos grãos que favorecem o espaço poroso. Além disso, a presença de matéria orgânica reduz fortemente a densidade do solo pois assegura elevada porosidade e peso específico menor (Brady, 1983).

Segundo Ingaremo (2003), dentre outros fatores de avaliação da qualidade do solo, a densidade é uma das principais propriedades, juntamente com a porosidade, distribuição do tamanho dos poros, resistência mecânica, condutividade hidráulica, distribuição de tamanho de partículas e profundidade de raízes. No entanto, cada pesquisador deve selecionar as características que serão importantes na tomada de decisão

em uma situação específica e de que forma essas variáveis correlacionam-se, já que uma propriedade isolada não pode servir de parâmetro.

No uso de irrigação, a densidade do solo é um fato preponderante pois possibilita que o conteúdo gravimétrico de água no solo seja transformado em altura de lâmina de irrigação, que é um fator necessário para o dimensionamento de um sistema de irrigação. A densidade do solo indica de forma direta se há compactação da área pois a compactação do solo compromete a saúde do solo e conseqüentemente do crescimento radicular e o sucesso da cultura do ponto de vista agrônômico. A densidade alta, indicando compactação do solo, implica alta resistência a penetração quando seco e baixa oxigenação quando úmido. Em ambos os casos há redução da taxa de infiltração de água no solo. Em consequência à compactação ocorre dificuldade no processo de semeadura e emergência de plântulas, além de maior possibilidade de presença de patógenos influenciados pela maior umidade (poças causadas pela baixa taxa de infiltração), normalmente fungos (Michelon, 2005).

De acordo com Reinert & Reichert (2001), os valores críticos de densidade que justificam compactação do solo são referenciados pela textura do solo. Para solos com mais de 55% de argila o valor crítico de densidade do solo para compactação é de $1,45 \text{ Mg.m}^{-3}$; para solos entre 20 e 55% de argila o valor crítico de densidade é de $1,55 \text{ Mg.m}^{-3}$; e para solos com menos de 20% de argila, o valor crítico é de $1,65 \text{ Mg.m}^{-3}$.

Segundo resultados de trabalho realizado por Michelin (2005), no Brasil central, constatou-se nas amostras de solo superficiais que 13,3% das áreas amostradas no Estado de Goiás apresentaram indicação de compactação; 24,1% em Minas Gerais e 29,2% no Estado de Bahia. Isso porque os solos em Goiás apresentaram na maior parte das amostras, teor de argila superior a 70% em todas as camadas. Em Minas Gerais a maior frequência das amostras ficou entre 20-30% de argila na camada superficial e 30-40% de argila nas outras duas camadas. No Estado da Bahia a maior parte das amostras foram classificadas na faixa de 0-20% de argila nas três camadas estudadas.

Por causar tantas modificações é preciso entender como o manejo pode afetar a densidade do solo. Fatores como o uso intensivo de equipamentos agrícolas durante todas as operações (fases do manejo) são grandes agentes compactantes do solo. Segundo Camargo & Alleoni (2006), as forças capazes de causar compactação podem ser internas ou externas. As externas resultam do tráfego de máquinas, animais ou pessoas; crescimento de raízes grandes que empurram as partículas do solo podem causar leve compactação. As forças internas podem ser resultado de ciclos como congelamento (não

ocorre na região central do Brasil); umedecimento e secamento do solo e expansão e contração da massa de solo. Além disso, o material de origem pode favorecer um tipo de sedimentação que cause preenchimento dos poros existentes no solo. Isso acarreta redução na porosidade do solo, auxiliado ainda pelo revolvimento do solo que causa o rompimento de agregados do solo e posterior reorganização dessas partículas que também podem ocupar poros preexistentes.

Como a passagem de máquinas possui certa preponderância como agente compactador do solo, faz-se necessário citar como a regulação de máquinas e implementos pode reduzir a pressão no solo. Segundo Hakansson (1990), fatores como elevada carga por eixo, pequena largura do pneu e alta pressão de inflação do pneu podem ser considerados, dentro do manejo de máquinas, como agente compactante. Há ainda alterações químicas resultantes da compactação, como concentração e tipo de íons na solução do solo (Rengasamy, 1983) já que muitos desses íons ficam aderidos aos colóides do solo.

A presença de água também pode se tornar um agente compactante, de acordo com a predisposição do solo. De acordo com Hillel (1998), considera-se que práticas agrícolas devem ser realizadas quando o solo se encontra friável, que é um teor de umidade entre a contração e a plasticidade. Caso o solo se encontre em estado de contração ou abaixo dele (solos secos) o solo não deverá ser trabalhado pois estará muito duro (estado de dureza), a atração entre as partículas é elevada e exige mais esforço das máquinas e gera torrões muito grandes (Ashburner & Sims, 1984). No estágio de plasticidade, entretanto, o solo fica mais suscetível à compactação devido à menor resistência a pressões externas, quando ocorre facilmente a redução da porosidade e orientação das partículas de argila em direção aos poros (Baver, 1966).

Richart et al. (2005) sugerem como medidas para prevenir ou aliviar a compactação do solo causada pelo tráfego de máquina: a redução da passagem de máquinas e equipamentos pesados principalmente quando o solo estiver em estado de plasticidade; executar as operações usando máquinas agrícolas quando o solo estiver menos sensível à compactação (friável); quando usado o sistema convencional de preparo de solo deve-se alternar profundidade de preparo para evitar ou retardar a formação de uma camada compactada; realizar com certa periodicidade a descompactação com uso de subsoladores e escarificadores, tanto no sistema convencional quanto no plantio direto; utilizar pneus de máquinas agrícolas com carcaça flexível, baixa pressão de inflação, diâmetro largo e pequena largura de secção.

2.5. Densidade de Partículas

A densidade de partículas é definida como a relação entre massa de sólidos de um solo seco (105°C e 110°C) e o volume ocupado pelas partículas do solo considerando apenas o espaço ocupado pela matéria sólida do solo (Carter, 1993).

A densidade de partículas juntamente com a textura do solo, são considerados fatores intrínsecos do solo, ou seja, são pouco mutáveis ao longo do tempo; são estáveis, e justamente por isso são considerados de grande importância na tomada de decisão do manejo e na identificação e classificação do solo. A estabilidade da densidade de partículas se dá em parte pela dependência da composição mineralógica do solo, que em sua maioria possuem densidade média entre 2,6 a 2,75 g cm⁻³ (Eguchi et al., 2002). No entanto, quanto maior a quantidade de matéria orgânica presente no solo, menor será a densidade, pois a matéria orgânica possui massa específica menor do que os minerais mais comuns do solo e volume semelhante (Brady, 1983), um horizonte orgânico por exemplo, possui densidade entre 1,10 e 1,40 g cm⁻³.

O método mais utilizado atualmente no Brasil para determinações de densidade de partículas é o método do balão volumétrico descrito pela EMBRAPA (2011), onde o álcool etílico 98% é utilizado para penetrar nos capilares do solo por possuir tensão superficial menor do que a da água, expulsando o ar e ocupando um determinado volume. No entanto existe uma pequena perda do álcool por evaporação, o que acaba por superestimar os valores de densidade de partículas no método do balão volumétrico, pelo menos quando comparado ao método do picnômetro, que é considerado mais preciso (Santos & Rodrigues, 2009).

Embora com pouca variação ao longo do tempo, o conhecimento da densidade de partículas é importante pois é parâmetro para o cálculo da porosidade total do solo, que varia prioritariamente segundo as alterações da densidade do solo. Além disso, a densidade de partículas se justifica por auxiliar na determinação da velocidade de sedimentação de partículas em água, grau de saturação com água, além de servir como critério na identificação de minerais (EMBRAPA, 2011).

2.6. Porosidade Total

O solo é dividido em duas partes, uma ocupada pela fase sólida do solo e outra ocupada por poros. Esses poros do solo podem ser ocupados por ar ou por água. Todo esse espaço de poros é chamado de porosidade total, oriundos do arranjo, distribuição e orientação das partículas do solo. Os poros do solo são necessários para armazenar água e ar, essenciais para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais, microorganismos e animais do solo (Michelon, 2005). A qualidade estrutural do solo é normalmente definida por parâmetros como a densidade e a porosidade, pois essas propriedades são de simples determinação e possibilitam a verificação do efeito do manejo sobre o solo (Dalbianco, 2009).

Os solos possuem porosidades diferentes dependendo de suas características, determinadas principalmente por sua estrutura e textura. No caso da textura, segundo Koorevaar et al. (1983), solos arenosos possuem porosidade entre 35 e 60%, solos siltosos entre 30 e 60% e solos argilosos entre 30 e 70%. Outros fatores intrínsecos à porosidade também são fundamentais para a saúde do solo, entre eles, a relação entre macro e microporosidade e continuidade dos poros.

A relação entre macro e microporosidade é decisiva na finalidade desses poros. Segundo Kiehl (1979), os macroporos são designados para aeração, movimentação de água e penetração das raízes, enquanto os microporos são responsáveis em armazenar a água no solo. Em relação à textura, quando nos solos predominam partículas maiores (como areia, por exemplo), predominam também poros grandes (macroporos) e em solos predominantemente argilosos (partículas pequenas), predominam os microporos (Vieira et al., 1988).

Quando ocorrem alterações da porosidade do solo, indicando compactação, outros fatores também são alterados, como densidade do solo; quebra de continuidade dos poros; redução do tamanho dos poros; e diminuição da difusão dos gases, afetando principalmente a redução de macroporos em detrimento aos microporos (Hillel, 1998). Os poros, segundo Abreu (2000), são mais estáveis quando resultantes da decomposição de raízes que mediante seu crescimento formam poros com a sua forma. A estabilidade desses poros se justifica já que o produto da decomposição das raízes é material cimentante que se deposita nas paredes dos poros, aumentando sua durabilidade.

Apesar de ser praticamente de conhecimento geral que o plantio direto proporciona melhores condições físicas para o solo, trabalhos mostram que isso nem

sempre é condição obrigatória, principalmente no que diz respeito à camada superficial. Como exemplo pode-se citar resultado obtido por Stone & Silveira (2001) ao estudar o efeito de quatro sistemas de preparo do solo, variando desde o convencional até o plantio direto. Como resultado, o plantio direto ocasionou valores maiores de densidade do solo e menores de porosidade total na camada superficial. Nas camadas mais profundas o preparo do solo com arado de aiveca propiciou os menores valores de densidade do solo e maiores de porosidade total e macroporosidade.

Resultado semelhante ao anterior foi encontrado por Tormena et al. (2002) em estudo de diferentes sistemas de preparo de solo com mandioca por dois anos em plantio direto, preparo mínimo e preparo convencional. Constatou-se que os maiores valores de densidade e menores de macroporosidade na camada de 0-10 cm foram encontrados no sistema de plantio direto e preparo mínimo do solo. No geral, os sistemas de preparo convencional e preparo mínimo do solo proporcionaram condições físicas menos restritivas ao crescimento das raízes quando comparado ao plantio direto.

2.7. Matéria Orgânica

A matéria orgânica do solo é formada por resíduos de microrganismos, animais e vegetais em decomposição, substâncias humificadas e não humificadas, formando a matéria macrorrgânica, compreendendo organismos vivos e não vivos, constituindo cerca de 4% do total do solo (Primo et al., 2011). Já Primavesi (2002) defende que matéria orgânica é toda substância morta no solo, provindas de plantas, microrganismos, excreções animais, da meso e macrofauna morta e que possui importância no fornecimento de nitrogênio das plantas, embora não seja sua principal fonte.

Sabe-se ainda que a água é fator indispensável para o metabolismo de microrganismos que atuam na decomposição da matéria orgânica. Por isso a irrigação é responsável pelo aporte de resíduos vegetais de cerca de 1,6 Mg de carbono por hectare por ano. Mesmo não se tratando de uma matéria homogênea, a matéria orgânica do solo (MOS) possui forte influência em fatores físicos do solo e é fortemente influenciada pelo manejo (De Bona, 2005).

Um dos benefícios da matéria orgânica é o incremento na capacidade de troca de cátions (CTC) do solo. Isso indica que o solo está trocando seus íons positivos por outros íons positivos (Van Raij, 1969) e isso é muito importante do ponto de vista da fertilidade do solo pois aumenta a retenção de fertilizantes potássicos, cálcicos e magnesianos

catiônicos, fazendo com que sejam retidos no solo e não perdidos por lixiviação. Além desse fator, Mielniczuk (1999) sugere que o teor de matéria orgânica no solo é um dos fatores que mais fortemente indica a saúde do solo. Isso se manifesta em várias outras propriedades como maior resistência a erosão, maior taxa de infiltração de água no solo, adsorção e complexação de compostos na ciclagem de elementos químicos, sequestro de carbono atmosférico, atividade e diversidade biológica no solo e resistência a perturbações (quebra de agregados). Para Doran & Parkin (1994) qualidade do solo é quando este possui capacidade de manter a produtividade biológica, qualidade ambiental e promoção de saúde da vida vegetal e animal da Terra.

A qualidade do solo pode ser dividida em três grupos: efêmeros, quando as alterações são rapidamente responsivas ao manejo, como pH, disponibilidade de nutrientes, densidade, porosidade e umidade do solo; intermediários, quando possui forte influência nos processos que ocorrem no solo como matéria orgânica, agregação e biomassa microbiana; e permanentes, que são aquelas características intrínsecas ao solo, que mudam lentamente ao longo do tempo, sendo praticamente não responsivo ao manejo. O grupo intermediário é o mais utilizado para verificar a qualidade de um solo (Islam & Weil, 2000).

A matéria orgânica é constituída por carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre e fósforo com os teores de 58%, 6%, 33% e os últimos 3% cada (Santos et al., 2002). Estão presentes na matéria orgânica as substâncias húmicas, que segundo Steverson (1994), são formadas por uma série de polímeros amorfos de coloração amarela, marrom e preta, de peso molecular relativamente alto e formado por reações de síntese secundárias, bióticas e abióticas, usualmente classificadas em relação a sua solubilidade em ácidos ou soluções alcalinas. De acordo com as características físico-químicas, as substâncias húmicas ainda são divididas em ácidos fúlvicos, que são a fração de menor massa molecular e maior solubilidade e mobilidade no solo; ácidos húmicos, que são substâncias de coloração escura composta por macromoléculas de massa molecular elevada, formada por reações de síntese secundária de resíduos orgânicos (Steverson, 1994); e humina, que possui pequena reatividade, é hidrofóbico e interage com os componentes inorgânicos do solo (Primo, 2011).

Sabe-se que quando em sistemas naturais sem interferência humana o carbono orgânico se encontra em equilíbrio dinâmico (D'Andréa et al., 2004). Já com a entrada de sistemas de cultivo, esse equilíbrio é perdido por causa das perdas da matéria orgânica, 50% da matéria orgânica é perdida nos primeiros anos de cultivo principalmente por

decomposição microbiana e erosão (Andreux, 1996). Portanto, um novo equilíbrio deve ser reestabelecido através do manejo (Loss et al., 2007). As condições tropicais de temperatura e umidade junto aos sistemas convencionais de preparo do solo elevam a taxa de mineralização em relação à taxa de adição de resíduos orgânicos ao solo, o que reduz o abastecimento de matéria orgânica, o que dá início a processos que desencadeiam a degradação do solo (Conceição, 2006; Resende & Rosolen, 2011).

Segundo Melo et al. (2001) a matéria orgânica do solo atua como agente agregante, o que causa o aumento da porosidade total do solo, principalmente de macroporos. A infiltração da água no solo ocorre em primeiro momento via macroporos para então ser armazenada nos microporos. Em consequência a esse processo, o teor de matéria orgânica aumenta a infiltração de água no solo.

Segundo Bayer et al. (2000), o revolvimento do solo sugere perdas de matéria orgânica, justificado por Silva et al. (2005) pela menor proteção dos agregados, aumento da aeração e temperatura e fracionamento de resíduos vegetais.

O acúmulo de matéria orgânica no solo é um objetivo a ser buscado na agricultura irrigada. Apesar de que a irrigação esteja relacionada contrariamente ao acúmulo de matéria orgânica no solo, ela deve ser suplementada quando possível já que promove benefícios ao solo como aumento da atividade e diversidade biológica, aumento da capacidade de retenção de cátions, estoque de nutrientes, sequestro de carbono atmosférico, ciclagem de elementos químicos; e adsorção e complexação de compostos. Quanto aos aspectos referentes à irrigação, o incremento em MOS desenvolve resistência às perturbações provocadas pelas gostas de água de irrigação, resistência à erosão (principalmente hídrica), aumento de taxa de infiltração e retenção de água no solo (Vezzani & Mielniczuk, 2009).

2.8. Taxa de Infiltração Estabilizada (TIE)

A infiltração da água no solo é o processo pelo qual a água entra pelos poros do solo. A infiltração inicia-se pelos macroporos e é armazenada pelos microporos. A primeira reação do solo seco é a infiltração em teores elevados e rapidamente, depois essa taxa reduz até se estabilizar, ficando constante a quantidade de água infiltrada em relação

ao tempo de infiltração. Esse valor constante é conhecido como taxa de infiltração básica (Alves-Sobrinho et al., 2003; Lins Cunha et al., 2009)

O conhecimento da taxa de infiltração estabilizada é importante pois auxilia na definição de técnicas de sustentabilidade na agricultura como conservação do solo, implantação de sistemas de irrigação e drenagem (Gondim et al., 2011). Além disso, auxilia na escolha de taxa de irrigação adequada, que reduzirá efeitos como escoamento superficial e lixiviação, que podem gerar perda não somente de água como também de fertilidade, que são grandes investimentos da agricultura. A TIE, segundo Bertolani & Vieira (2001), contribui para adequação das atividades agrícolas à aptidão do solo, além de reduzir a degradação do solo, seja ela física, química ou biológica.

Segundo Mantovani et al. (2003), a TIE é muito importante, na agricultura irrigada pois ela determina a capacidade de suporte do solo a determinada taxa de aplicação. No caso da irrigação por aspersão, onde as taxas de aplicação são maiores do que na irrigação localizada, a determinação dessa taxa é ainda mais importante, pois há a possibilidade de superirrigação. Além disso, a TIE é fundamental para a escolha do emissor e velocidade de passagem no caso do pivô central. No dimensionamento de irrigação a TIE é muito útil pois reflete a capacidade do solo de infiltrar a água. No caso da aspersão convencional a TIE determina a intensidade de precipitação máxima que poderá ser aplicada no solo, evitando o escoamento superficial (Coelho et al., 2000).

A importância prática da TIE implica em vários processos de manejo pois determina a quantidade de água disponível para absorção das raízes e quanto ficará retido na superfície para seguir a topografia do terreno (escoamento) ou ficar em forma de poças na superfície do solo ou mesmo ultrapassar no perfil do solo o comprimento das raízes (lixiviação) levando consigo parte dos nutrientes (Reichert et al., 1996). A má definição da taxa de infiltração pode acarretar falhas no dimensionamento estrutural de sistemas de aspersão, além de outros fatores referentes à qualidade do sistema como redução da eficiência do mesmo, aumentos dos custos de operação (energia, água, combustível), aumentos dos impactos ambientais (erosão, lixiviação de fertilizantes e salinização) (Calheiros et al., 2009).

Bernardo et al. (2013) sugerem a dependência da TIE a outros atributos e condições do solo, entre eles a estrutura, textura, teor de umidade, temperatura (altera a viscosidade da água), porosidade, existência de camadas compactadas, cobertura vegetal, teor de matéria orgânica e etc. Dentre os fatores que reduzem sensivelmente a taxa de infiltração estabilizada, Panachuki (2003) cita a formação de selamento superficial e a

dominância de microporos em relação a macroporos nesta mesma camada, já que a infiltração inicial ocorre prioritariamente via macroporos.

2.9. Geoestatística Aplicada ao Estudo do Solo

A geoestatística, segundo Soares (2006), é o conjunto de métodos, técnicas e instrumentos estatísticos que dão atributos aos fenômenos espaciais naturais. Possui o objetivo de caracterizar a dispersão espacial e temporal dos fenômenos que definem a quantidade e a qualidade de recursos naturais em que os atributos manifestem certa estrutura no espaço e ou no tempo. Já segundo Yamamoto & Landim (2013), a geoestatística, ao estudar a variabilidade espacial objetiva a caracterização do atributo em questão e também determina as incertezas associadas a ele. Ambos conceitos dizem a mesma coisa, a geoestatística é um modelo estatístico com função de inferir a correlação espacial entre o valor de uma variável conhecida com valores espacialmente próximos (Huijbregts, 1975).

Como histórico da geoestatística, pode-se afirmar que o marco de seu surgimento foi Daniel G. Krige (1951), engenheiro em minas de ouro da África do Sul, embora haja relatos de usos anteriores da geoestatística para aferir produtividade em pequenas áreas (Oliveira et al., 2015). Krige percebeu que encontrava ouro quando correlacionava amostras vizinhas de pontos onde já havia sido encontrado ouro na busca da direção por pontos mais vantajosos para perfuração. Desta forma, a análise geoestatística se espalhou entre os especialistas da área de mineração. Depois, a partir da década de 60, Georges Matheron, um matemático francês realmente levou a geoestatística para um campo ainda mais avançado, ele foi o criador da Teoria das Variáveis Regionalizadas. Essa teoria possui três postulados básicos: a variável regionalizada ocupa lugar no espaço, onde as variações ocorrem para aquela amostra em particular; apresenta continuidade de variação sutil, podendo ser considerada quase como estável em sua atividade; apresenta diferentes tipos de variações levando-se em conta as direções (anisotropia), podendo haver uma grande quantidade de um mineral explorado numa certa direção enquanto em outra direção pode haver uma ruptura brusca dessa continuidade ao longo de uma transecção (Matheron, 1963).

Srivastava (1996) fez uma comparação entre a estatística clássica e a geoestatística de uma forma bem didática. A estatística clássica busca normalidade e independência

espacial entre os dados, assumindo que as observações são independentes, generalizando-as e distribuindo-as baseando-se pela média dos dados. A geoestatística busca a correlação espacial, buscando a proximidade dos pontos como facilitadores de aproximação de valores de atributos, sendo de pontos conhecidos para pontos desconhecidos pois existe uma distância amostral que é potencialmente conhecida a partir de seus próximos. Andriotti (2002) simplifica dizendo que na geoestatística o dado é usado duas vezes, uma para demonstrar a correlação com seus vizinhos e outra para estimar pontos não amostrados. A dependência espacial é muito comum nos estudos de ciência do solo já que o solo não é homogêneo, mesmo em áreas pequenas. Mas como existem áreas de cultivo muito extensas no Centro-Oeste como cana-de-açúcar e soja por exemplo, é quase impossível que não haja manchas de solo e heterogeneidades nessa extensão, expressas pela geoestatística no estudo amostral.

Um estudo de geoestatística deve começar com a escolha da forma de se amostrar, formato e principalmente distância entre as amostras. Segundo Chung et al. (1995) de nada valerá a sofisticação ou rigor nas análises se as amostras coletadas não forem representativas para a área ou para o atributo escolhido para estudo. De acordo com Orlando Filho & Rodella (1983), apenas de 15 a 20% do erro total dos resultados pode ser referente a erros no trabalho de laboratório enquanto 80 a 85% são decorrentes de erros de amostragem em campo para finalidade de caracterização de atributos químicos do solo.

A escolha do *grid* amostral e da organização amostral são fundamentais para o sucesso ou não da amostragem. Por isso, uma avaliação visual das características do terreno pode embasar escolhas. Não existe um *grid* universal para cada atributo. Segundo Cherubin et al. (2014) não é possível um tamanho ideal de *grid* que permita a captura da variabilidade espacial das propriedades químicas do solo. Ainda segundo o autor, o *grid* ideal para uma determinada área só é possível através da amostragem sistemática pois o manejo pode alterar várias características do solo, o que conseqüentemente altera o *grid* que evidencia a variabilidade espacial do atributo em questão. A amostragem de solo para fins geoestatísticos no Brasil ainda ocorre de forma prioritariamente empírica, e segundo Nanni et al. (2011), o *grid* amostral comumente adotado nas fazendas brasileiras tem dimensões de 100 m a 225 m sem nenhuma justificativa específica, apenas motivada pela redução de custos e/ou praticidade. Dentro da agricultura de precisão, a rigidez na amostragem é o fator que mais eleva os custos da aplicação dessa técnica, além de consumir tempo e recursos tecnológicos e humanos.

Para que a geoestatística seja realizada de forma completa, os variogramas são fundamentais e serão conceituados a seguir. As antes disso, há uma discussão na literatura quanto à nomenclatura dos termos variograma e semivariograma. O prefixo *semi* se deve à divisão da média das diferenças dos quadrados por dois, que é a variância da diferença de pares de pontos separados pela distância amostral, mas nos cálculos usa-se sempre a divisão por 2, ou seja, os semivariogramas (Yamamoto & Landim, 2013). Segundo Cressie (1989), o variograma é o parâmetro natural para estimar a partir das diferenças quadráticas médias, mas para realizar a krigagem, usa-se o semivariograma, que é a metade do variograma. Por uma questão de praticidade usaremos neste trabalho o termo variograma.

Variograma:

$$\gamma(h) = \frac{1}{n} \left[\sum (X_{i+h} - X_i)^2 \right]$$

Semivariograma:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \left[\sum (X_{i+h} - X_i)^2 \right]$$

Sendo:

$\gamma(h)$: Variância ou semivariância

X_i : valores das variáveis amostradas

h : distância amostral

n : número de pares amostrais

O variograma é uma função que fornece um valor que descreve a mudança das características em relação à distância das amostras (Oliveira, 2013). Com o uso de variogramas pode-se definir vários fatores de variabilidade espacial segundo Huijbregts (1975):

Suporte: Domínio geométrico para cada amostra, como coordenadas geográficas e valor dos atributos avaliados;

Zona de influência: é a área influenciada pelo dado amostral pois como se sabe, quanto maior a distância amostral, maior será o valor da variância;

Regionalização superpostas: quando há mudanças nas curvas dos variogramas, pode ser sinal de flutuações e podem significar pequenas regionalizações;

Anisotropias: quando há tendência em uma certa direção diz que há anisotropia. Quando não há uma tendência específica em uma direção diz-se que é isotrópico, ou seja, a mesma tendência em todas as direções;

Continuidade espacial: um variograma representa boa continuidade espacial quando representa formato parabólico. O efeito pepita ocorre quando o início da curva não é nulo, representando uma descontinuidade entre as amostras.

Corregionalização: é o estudo da correlação espacial através de variogramas cruzados entre duas variáveis.

Oliveira (2013) afirma que a modelagem do variograma faz parte ainda da análise exploratória dos dados que posteriormente contribuem na modelagem teórica e serve também para determinar alguns parâmetros que serão utilizados no ajuste como, o efeito pepita (Co), patamar (C) e alcance (a). No entanto, segundo Yamamoto & Landim (2013), os variogramas podem apresentar patamar ou não. O patamar (C) é o momento em que os dados do variograma se estabilizam a uma certa distância (a). Quando não há patamar pode-se inferir uma amostragem equivocada, seja pela quantidade de amostras ou pela distância amostral. Já os variogramas com patamar possuem vários modelos teóricos aos quais podem ser ajustados: esférico, exponencial, gaussiano, cúbico, pentaesférico e efeito furo.

A krigagem surgiu da necessidade de se estimar os pontos não amostrados a partir de uma interpolação de amostras realizadas na área em questão a fim de visualizar o comportamento de uma variável (Ortiz, 2002). Após o cálculo dos variogramas é possibilitada a realização da interpolação dos dados para gerar mapas, que são os trabalhos resultantes do processo geoestatístico.

As funções da krigagem são: previsão de um valor pontual dentro do campo geométrico analisado e amostrado; fornecer o erro das estimativas (confiabilidade); definir o “peso” que cada amostra possui como influenciadora das características de suas vizinhas (Landim, 2006).

A krigagem ordinária é o método mais utilizado para dados de solo devido a sua simplicidade. É um método local em que os pontos estimados combinam valores lineares da vizinhança (Yamamoto & Landim, 2013).

As frações da textura por exemplo, em um cafezal pesquisado por Lima et al. (2012) apresentou de moderada a forte dependência espacial para quase todos os atributos de solo, menos silte que apresentou efeito pepita puro. A argila foi ajustada ao modelo esférico e areia total seguiu o modelo gaussiano na primeira profundidade estudada (0 – 20 cm) e esférico na segunda (20 – 40 cm) com alcances variando de 12 a 54 m. Também foi encontrada variabilidade espacial em atributos de textura em trabalho de Campos et

al. (2007) levando-se em consideração o relevo e o material de origem com alcances de 2424 m a 2968 m na profundidade de 0 – 25 cm, todos ajustados ao modelo esférico.

Em trabalho realizado por Corá et al. (2004) em área de cana de açúcar obteve-se na profundidade de 0 – 20 cm grau de dependência espacial moderado em relação ao teor de argila e ajuste ao modelo exponencial com alcance de 299 m. Já o teor de matéria orgânica obteve alcance de 126 m ajustou-se ao mesmo modelo e obteve também moderado grau de dependência espacial.

Em relação a matéria orgânica, Souza et al. (2004b) ao comparar diferentes relevos obteve moderada dependência espacial na profundidade de 0 – 20 cm e forte na profundidade 20 – 40 cm, ambos em ajuste ao modelo esférico. Souza et al. (2001) ao estudar atributos físicos do solo sob semeadura direta em profundidades amostrais de 0 – 5 cm e 15 – 20 cm constatou que no atributo porosidade total obteve ajuste esférico e alcance de 12,30 m e 22,40 m para as duas profundidades respectivamente. A densidade do solo também se ajustou ao mesmo modelo, com alcances 13,12 m e 22,60 m.

Em relação a atributos físicos sob diferentes manejos do solo, o trabalho de Cavalcante et al. (2011) resultou para o manejo convencional do solo ajuste esférico para densidade do solo e alcances de 4,7 m para a profundidade de 0 -10 cm e 5,1 para a profundidade de 10 – 20 cm.

No caso de haver efeito pepita puro (não há dependência espacial) ainda é possível realizar a interpolação dos dados usando-se o método do inverso do quadrado da distância (IQD), que permite o mapeamento dos dados que não possuíram dependência espacial ou menor adequação ao modelo escolhido (Mello et al., 2003). Existem mais potências usadas na interpolação que não o quadrado, mas segundo Silva et al. (2007), a potência 2 é mais utilizada em casos práticos. O método IQD pode ser usado tanto como interpolador quanto como suavizador e avalia os pesos durante o processo de interpolação. Um fator que pode ser considerado como desvantagem desse método é o efeito mira próximo aos pontos amostrados e generalização no restante da área (Lima et al., 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado de outubro de 2015 a setembro de 2016. A área estudada está localizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres (IF Goiano – Campus Ceres), situado no município de Ceres (GO). Localiza-se na Zona 22L do sistema Universal Transversa de Mercator (UTM) com longitude de 649566.00 m E e latitude 8301974.00 m S. O clima da região se enquadra em Aw, clima Tropical, do tipo savana com chuvas de verão conforme a classificação climática de Köppen.

A área de estudo tem histórico de uso de cerca de 40 anos sob pastagem e principalmente culturas anuais sob manejo convencional. Há cinco anos foi implantado sistema de irrigação por pivô central o qual ocupa uma área de 5 hectares (Figura 1) a qual tem sido utilizada prioritariamente para realização de projetos de pesquisa.



Figura 1. Vista da área do pivô central experimental do IF Goiano - Campus Ceres - GO. Crédito: Oliveira, H. F. E. (2014)

Visando a amostragem para espacialização e mapeamento de características físico-hídricas, a área foi dividida e um esquema radial composto por 8 transectos ao longo do raio do pivô com distâncias regulares de 45° entre si, de acordo com metodologia de Couto & Klamt (1999). Em cada transecto foram marcados pontos amostrais com distância de 9 metros entre si o que resultou em 14 pontos por transecto e 112 pontos amostrais na área total (Figura 02). Após marcação com teodolito da estrutura amostral, foi feito levantamento planialtimétrico, usando estação total, para etapa seguinte de determinação de coordenadas absolutas e correção das mesmas com as coordenadas de precisão para todos os 112 pontos amostrais. As coordenadas com GPS de precisão no Sistema Universal Transversa de Mercator (UTM) foram coletadas em seis pontos da área. O croqui dos pontos amostrados e altimetria da área a cada 10 cm determinados com o auxílio do programa Surfer 7® (Golden Software Inc.) são apresentados na Figura 02.

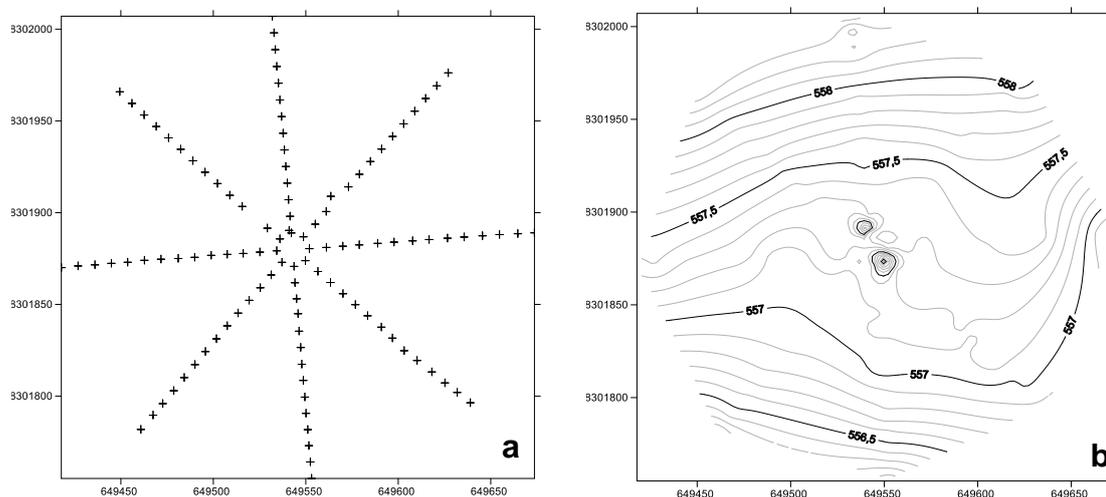


Figura 2. a) Croqui dos pontos amostrais georreferenciados; e b) altimetria da área experimental com curvas a cada 10 cm de declividade

Foi realizada a classificação do solo nos quatro quadrantes (Figura 03) da área estudada de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos et al., 2013). Para tanto foram abertas trincheiras e feita a descrição de perfil de solo em sete pontos de acordo com Santos et al. (2015) e os resultados são apresentados nos Anexos dessa dissertação.



Figura 3. Área do estudo dividida em quadrantes (Fonte: Google Earth (2018) com modificações)

Em cada ponto de cada um dos oito transectos foram coletadas amostras deformadas e indeformadas em 2 (duas) profundidades: 0-10 (profundidade 1) e 10 a 20 cm (profundidade 2), totalizando 224 amostras de solo. Os atributos avaliados foram: argila (ARG), areia (ARE), silte (SIL), densidade do solo (DS), densidade de partículas (DP), porosidade total (PT) taxa de infiltração aos 19 minutos (TI19) e teor de matéria orgânica do solo (MO).

As amostras indeformadas foram coletadas com anel de Kopeck (de volume 98,125 cm³) e usadas para a análise de densidade do solo, e as deformadas foram coletadas com enxadão e utilizadas para as demais análises. As amostras deformadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2,00 mm para obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) e submetidas às análises físicas e de matéria orgânica.

A análise de granulometria foi feita pelo método da pipeta segundo EMBRAPA (2011), e para a densidade de partículas, foi usado o método do balão volumétrico também segundo EMBRAPA (2011). A porosidade total foi calculada a partir dos dados de

densidade do solo e densidade de partículas (EMBRAPA, 2011). A matéria orgânica foi analisada pelo método da chapa e dicromato de sódio segundo EMBRAPA (2011).

A taxa de infiltração foi determinada utilizando permeâmetro de Guelph nos mesmos pontos amostrais das coletas anteriores. Devido a variabilidade e incertezas sobre o tempo de estabilização correto na área, foi utilizado o tempo de infiltração de 19 min para todos os pontos visando caracterizar a área quanto a esse atributo.

Após todas as análises foi criado arquivo com as coordenadas geográficas de cada ponto do “*grid*” e os respectivos valores dos atributos físicos determinados para as análises descritivas e de geoestatística. Os dados obtidos foram submetidos à análise exploratória (descritiva) utilizando o software estatístico ASSISTAT (Silva & Azevedo, 2016). Em relação à estatística descritiva foram analisados os mínimos, máximos, média aritmética, mediana, desvio padrão, variância, assimetria, curtose, coeficiente de variação e testes de normalidade Shapiro-Wilk e Komorogov-Smirnov. Ainda usando o software Assistat, foi realizada a análise de correlação de *Pearson* que avalia linearmente à significância ao nível de 1% de probabilidade e 5% de probabilidade. Acima de 5% de probabilidade a correlação é tida como não significativa.

Visando avaliar a variabilidade espacial e a elaboração de mapas de iso-ocorrência dos atributos de solo estudados por meio da geoestatística utilizou-se o software GS+ 7.0 (Robertson, 2008). A dependência espacial dos dados foi avaliada conforme a classificação de Zimback (2001) onde utiliza-se a relação $C1/(C0+ C1)$ e os intervalos propostos consideram dependência espacial fraca ($IDE < 25\%$); moderada ($25\% \leq IDE < 75\%$) e forte ($IDE \geq 75\%$).

Os modelos teóricos de ajuste do semivariograma no software GS+ são linear, gaussiano, exponencial e esférico. Foi escolhido o melhor modelo de acordo com os parâmetros segundo Dias (2015) onde o melhor índice de determinação ($\sqrt{r^2}$) é o maior e a soma dos quadrados dos resíduos (SQR) a menor. Foi realizada ainda a validação-cruzada dos dados para obtenção do coeficiente de correlação da validação cruzada (r^2), que também deve ser o maior. Segundo Goovaerts (1997) a validação-cruzada permite comparar o peso dos diferentes modelos teóricos de semivariogramas sobre os resultados da interpolação.

A estrutura do modelo de semivariância é indicado pela equação 01:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (01)$$

Onde:

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

Após a etapa de avaliação de semivariogramas, os dados também foram utilizados para interpolação dos atributos em questão. Para os atributos que apresentaram dependência espacial foi aplicada a Krigagem Ordinária e os atributos que não apresentaram dependência, a interpolação foi realizada pelo método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD). Os resultados da interpolação de cada atributo estudado foram utilizados para o mapeamento temático analítico.

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Estatística Descritiva dos Dados Físico-Hídricos do Solo

A Tabela 01 apresenta os resultados da análise estatística descritiva aplicada aos atributos avaliados. Analisando essa tabela, observa-se que os atributos argila, areia, Ds, PT e MOS (10 a 20 cm) apresentaram valores de média e mediana próximos, o que resulta em valores de assimetria próximos de zero. De acordo com Webster (1985) valores de assimetria entre -0,5 e 0,5 e curtose menor que 3 indicam que os dados apresentam distribuição normal, o que foi confirmado pelas análises Shapiro-Wilk e ou Komorogov-Smirnov.

Os resultados de distribuição normal encontrados neste trabalho foram concordantes com os obtidos por Amaro Filho (2007) para os atributos areia, densidade do solo e volume total de poros e silte.

Os atributos silte e TI19 não apresentaram distribuição normal para as camadas avaliadas e tiveram os maiores valores de coeficientes de variação obtidos, mostrando-se os atributos mais erráticos do estudo. Segundo Santos et al. (2012) a variabilidade de silte geralmente está relacionada a erros provenientes da análise desse atributo já que ao contrário de areia e argila, o silte não é obtido por quantificação e sim por diferença. No entanto, isso não ocorreu no presente estudo, pois o silte foi quantificado por pipetagem aos 4 minutos subtraindo-se o teor de argila posteriormente no tempo de sedimentação, e com distribuição de erros para argila e silte.

Quanto à ausência de normalidade de silte, densidade de partículas, MOS (0-10 cm) e TI19, Cressie (1991) afirma que esse comportamento dos dados não inviabiliza a análise geoestatística podendo ser aplicada a krigagem ordinária aos mesmos visando a interpolação. Em relação ao coeficiente de variação, considerando os limites propostos por Warrick & Nielsen (1980), os atributos de D_s , D_p e PT (10 a 20 cm) foram classificados como % CV baixos. Os atributos argila, areia, silte, PT (10 a 20 cm) e MOS, foram enquadrados como medianos (12 a 60%) e apenas TI19 considerado alto (%CV >60%). Santos et al. (2012) também encontraram coeficientes de variação baixos para densidade de partículas e densidade do solo.

Analisando o teor de argila verifica-se que essa fração variou de forma geral de 200,9 a 627,7 g kg⁻¹ com média de 346,1 g kg⁻¹ na profundidade de 0 a 10 cm e 361,7 g.kg⁻¹ na profundidade de 10 a 20 cm. Com isso, o solo da área de estudo pode ser classificado na média como franco-argilo-arenoso na camada de 0 a 10 cm e como argilo-arenoso na camada de 10 a 20 cm com base no triângulo textural, conforme Santos et al. (2015). A granulometria do solo é uma das características de solo mais importantes por influenciar em vários atributos físicos e químicos como capacidade de retenção de água, potencial de mecanização, aeração, taxa de drenagem, teor de matéria orgânica, propensão à erosão e compactação, potencial de contração e expansão, propensão a retenção catiônica ou aniônica de nutrientes e etc. (Reinert & Reichert, 2006).

Quanto à densidade do solo, os valores variaram de 1,02 a 1,91 kg dm⁻³ com média de 1,47 kg dm⁻³ na camada de 0 a 10 cm e 1,49 kg dm⁻³ de 10 a 20 cm. Esses valores são considerados acima do nível crítico de 1,4 kg dm⁻³ em solo argiloso (Arshad et al., 1996), que de acordo com Nicoloso et al. (2008), restringem o desenvolvimento de raízes das plantas. Ressalta-se que nessa área havia sido realizada silagem na época das águas e a colheita coincidiu com solo úmido o que contribui para aumento da D_s . Práticas de descompactação como subsolagem, aração profunda e diminuição de operações em solo com umidade acima do recomendado devem ser colocadas em prática para melhorar esse indicador de qualidade do solo. Segundo trabalho de Carvalho et al. (1999) em cana-de-açúcar, a média da densidade do solo encontrada foi de 1,45 kg dm⁻³, ainda abaixo das densidades médias encontradas no presente estudo.

Tabela 1. Análise exploratória dos dados

	Profund. (cm)	Min.	Máx.	Média	Mediana	D. Padrão	Variância	Assimetria	Curtose	Coef. Var.	S-Wilk	K-Smv
ARG	0 - 10	200,9	472,9	346,1	351,6	66,7	4450,84	-0,19	-0,78	19,28	Sim	Sim
	10 - 20	198,9	627,7	361,7	358,1	75,4	5686,63	0,53	0,81	20,85	Sim	Sim
ARE	0 - 10	359,1	699,7	549,9	554,6	73,5	5399,95	-0,39	-0,42	13,36	Sim	Sim
	10 - 20	227,8	710,7	529,4	530,9	89,5	8014,29	-0,27	0,06	16,91	Sim	Sim
SIL	0 - 10	20,8	270,8	104,0	102,7	47,3	2235,71	0,71	1,26	45,46	Não	Sim
	10 - 20	6,6	256,5	109,0	102,8	44,3	1963,34	0,81	1,01	40,65	Não	Não
DS	0 - 10	1,02	1,91	1,47	1,47	0,16	0,03	-0,01	0,97	10,85	Sim	Sim
	10 - 20	1,19	1,80	1,49	1,48	0,12	0,01	0,04	0,00	8,06	Sim	Sim
DP	0 - 10	2,11	2,67	2,51	2,53	0,08	0,01	-1,99	8,38	3,05	Não	Não
	10 - 20	2,20	2,82	2,49	2,50	0,08	0,01	-0,26	2,91	3,38	Não	Não
PT	0 - 10	20,56	60,09	41,58	41,36	6,57	43,14	-0,10	1,16	15,80	Sim	Sim
	10 - 20	28,91	50,81	40,08	40,46	4,69	21,97	-0,14	0,01	11,69	Sim	Sim
MOS	0 - 10	15	32,4	20,9	19,35	4,29	18,45	0,65	-0,83	20,55	Não	Não
	10 - 20	8,50	24,90	17,62	17,75	3,28	10,74	-0,36	-0,27	18,59	Sim	Sim
TIE19	-	12	972	328,07	270	218,84	47895,05	0,74	-0,10	66,70	Não	Não

ARG-Teor de argila em g kg⁻¹; ARE-Teor de areia em g kg⁻¹; SIL- Teor de silte em g kg⁻¹; DS-Densidade do solo em g cm⁻³; DP-Densidade de partículas em g cm⁻³; PT-Porosidade total em %; MOS-Matéria Orgânica do Solo em g kg⁻¹ e TI19 - taxa de infiltração aos 19 minutos em mm h⁻¹.

A análise exploratória da densidade de partículas (D_p) indicou pequena diferença entre as duas profundidades estudadas sendo $2,51 \text{ kg dm}^{-3}$ para 0 a 10 cm e $2,49 \text{ kg dm}^{-3}$ para 10 a 20 cm. Esses resultados sugerem homogeneidade entre as duas profundidades. Carvalho et al. (1999) estudando um solo Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico observou que a densidade de partículas entre as duas profundidades estudadas (0 a 15 cm e 15 a 30 cm), aumentou em profundidade, devido a redução da quantidade de matéria orgânica do solo, que é um fator correlacionado inversamente à densidade de partículas. Apesar da redução de matéria orgânica em profundidade também ter acontecido no presente trabalho (Tabela 1), não afetou fortemente a densidade de partículas.

A porosidade total (PT) apresentou valores médios de 41,58% para 0 a 10 cm e 40,08% para 10 a 20 cm. Segundo Thomasson (1978) a porosidade de aeração não deve ser menor do que 10% a 15% para a maioria das culturas. A aeração em si depende de vários fatores relacionados às condições do solo sendo facilmente alterada pelo manejo. Em trabalho realizado por Carvalho et al. (1999) a porosidade total encontrada foi de 40,3% com baixo coeficiente de variação e distribuição normal, o que se assemelha aos dados deste trabalho.

O teor de matéria orgânica do solo (MOS) apresentou média de $20,9 \text{ g kg}^{-1}$ na camada de 0 a 10 cm e $17,62 \text{ g kg}^{-1}$ de 10 a 20 cm. Segundo Brady (1983), há redução de teores de MOS em profundidade porque a deposição de resíduos de animais e vegetais que compõem a MOS ocorre da camada superficial para as subsequentes. Segundo Arshad & Coen (1992) a matéria orgânica no solo é um forte indicador de qualidade do solo, pois entre outros ela é fundamental para a retenção de água e nutrientes no solo pois atua como estruturante, ajudando na manutenção de qualidade de porosidade, que além da retenção, também mantém a manutenção da umidade do solo. Fornece nutrientes, mantém a fauna do solo ativa e atenua efeitos do intemperismo.

Em trabalho realizado por Stone & Silveira (2001) mesmo no manejo com plantio direto não houve incremento de MOS em relação ao preparo convencional e com rotação de culturas. Segundo os autores, o que justificaria a não alteração do teor de MOS foi a falta de culturas específicas com finalidade de cobertura de solo, já que no caso, a cobertura foi oriunda somente da palhada da cultura de rotação antecedente. Segundo os autores, os fatores como altas temperatura, umidade e presença de irrigação favorecem a mineralização da matéria orgânica, não aumentando significativamente essa propriedade. A taxa de infiltração aos 19 minutos (TI19) obteve variação de 12 a 972 mm.h^{-1} com média de $328,07 \text{ mm.h}^{-1}$ evidenciando alta amplitude entre os dados avaliados. De acordo

com a classificação do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (1951) a taxa de infiltração da área varia de moderadamente lenta (5 a 12,4 mm h⁻¹) a muito rápida (> 250 mm h⁻¹) sendo a média do atributo na área considerado de velocidade de infiltração muito rápida. Isso pode estar relacionado a textura da área que apresenta teor de argila próxima textura média (150 a 350 g kg⁻¹ argila Santos et al. (2015)), mas principalmente pelo fato do tempo de 19 minutos não representar a infiltração estabilizada.

Tabela 2. Classes de permeabilidade do solo segundo USDA (1951)

Classe de permeabilidade	Infiltração estabilizada
	(mm/h)
Muito rápida	> 250,0
Rápida	250,0 a 125,0
Moderadamente rápida	124,0 a 63,0
Moderadamente rápida	62,0 a 12,5
Moderadamente lenta	12,4 a 5,0
Lenta	4,9 a 1,3 0
Muito lenta	< 1,3

4.2 Análise dos Semivariogramas Selecionados para os Atributos Avaliados

Todos os atributos avaliados apresentaram dependência espacial na área de estudo. Para as variáveis areia e silte na profundidade de 10 a 20 cm não foi obtido alcance de variabilidade. Isso pode indicar que o *grid* amostral não foi capaz de evidenciar a variação de dependência espacial existente.

Para os atributos areia, porosidade total, densidade do solo, matéria orgânica (10 a 20 cm) e taxa de Infiltração aos 19 minutos, o modelo gaussiano foi o que melhor se ajustou aos dados. Já o modelo exponencial foi o melhor para os dados de argila, silte, densidade de partículas e matéria orgânica (0 a 10 cm).

Argila se ajustou ao modelo exponencial (Figuras 4a e 4b) e na profundidade de 0 a 10 cm obteve alcance de 114,9 m enquanto na profundidade de 10 a 20 cm, o alcance foi de 74,2 m. Areia se adequou ao modelo gaussiano (Figuras 4c e 4d) com alcance de 70,5 m na profundidade de 0 a 10 cm. Silte se adequou ao modelo exponencial (Figuras 4e e 4f) com alcance de 99,30 m na profundidade de 0 a 10 cm. Na profundidade de 10 a 20 cm silte também se ajustou ao modelo exponencial, mas não obteve alcance dentro do *grid* amostral na área. Isso também aconteceu para areia na mesma profundidade, com ajuste gaussiano. Segundo Campos et al. (2007) para silte na profundidade de 0 a 25 cm,

em amostragem a cada 7 ha obteve-se ajuste ao modelo esférico e alcance de 2705 m, que é considerado valor alto quando comparado aos dados apresentados no presente trabalho, sem, no entanto, expressar pequenas diferenças, que foram evidenciadas em uma amostragem mais detalhada.

Castione et al. (2015) estudando área de pivô central em Argissolo Vermelho-Amarelo, obtiveram também ajuste exponencial para todos os atributos de granulometria, com exceção para o silte na profundidade de 0 a 10 cm que se ajustou ao modelo gaussiano, e de 10 a 20 cm ao modelo esférico.

Em relação aos semivariogramas para D_s , esse atributo ajustou-se ao modelo gaussiano nas duas profundidades amostradas (Figuras 4g e 4h), sendo que o alcance entre as duas profundidades apresentou alta amplitude. Na profundidade de 0 a 10 cm o alcance foi de 115,80 m e de 10 a 20 cm foi de 10,70 m. Em ambas profundidades o grau de dependência espacial foi considerado forte. Rodrigues (2014) também verificou alta variação entre os alcances de densidade do solo nas profundidades 0 a 20 cm e 20 a 40 cm em um Nitossolo Vermelho Eutroférico de textura argilosa. Na profundidade de 0 a 20 cm o autor encontrou baixo grau de dependência espacial e alcance de 109 m e na profundidade de 20 a 40 cm o grau de dependência passou a moderado e o alcance reduziu para 55 m, ambos ajustados ao modelo esférico.

Como semelhança ao presente trabalho pode-se notar que o aumento do grau de dependência espacial acarretou a redução do alcance e o aumento do grau de dependência espacial aconteceu também da camada superficial para a mais profunda, embora as profundidades amostrais não sejam as mesmas deste trabalho.

Em Lemos Filho et al. (2017) foram testados os modelos de ajuste gaussiano, esférico e exponencial como fonte de alteração dos resultados da geoestatística de densidade de solo em uma microbacia hidrográfica em solo com predominância de Latossolo Vermelho Amarelo distrófico com *grid* amostral de 180 x 180 m. Obteve-se que na profundidade de 0 a 20 cm o modelo com menor alcance foi o gaussiano (263,27 m) e o maior alcance foi atribuído ao modelo exponencial (402 m).

Para densidade de partículas (D_p) o semivariograma ajustado aos dados foi o modelo exponencial e grau de dependência espacial forte nas duas profundidades amostradas (Figuras 4i e 4j). Na profundidade de 0 a 10 cm o alcance foi de 55,60 m e na profundidade de 10 a 20 cm de 40,70 m. Ramírez-Lopes et al. (2008) também encontraram ajuste ao modelo exponencial apenas na profundidade de 0 a 10 cm, no entanto, o alcance obtido foi de 349,30 m, acima do presente estudo.

Cruz et al (2010) estudando cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo Vermelho-Amarelo na profundidade 0 a 20 cm o modelo gaussiano se ajustou para densidade de partículas um alcance de 98,80 m, sendo também maior do que o encontrado neste trabalho. Na literatura é possível encontrar vários trabalhos onde não ocorre dependência espacial para densidade de partículas (Eguchi et al. (2002); Reichert et al. (2008); e Berner et al. (2007) para a profundidade de 0 a 10 cm. A baixa dependência espacial desse atributo pode ter como causa o fato dos alcances serem grandes, o que contrapõe aos resultados deste trabalho.

Analisando o atributo porosidade total (PT) por meio da geoestatística esse atributo assumiu forte dependência espacial. Os dados se ajustaram ao modelo gaussiano para as duas profundidades estudadas com alcance de 9,50 m para a profundidade de 0 a 10 cm e 9,20 m para a profundidade de 10 a 20 cm (Figuras 4k e 4l). Os alcances foram muito próximos à distância de amostragem que foi de 9 m. Os resultados indicam que alcances maiores na camada superficial estão relacionados ao nível de perturbação do solo como a maior movimentação do solo promovida pelo manejo convencional, fazendo com que esses atributos ocorram de maneira aleatória no espaço (Da Mata et al., 1998).

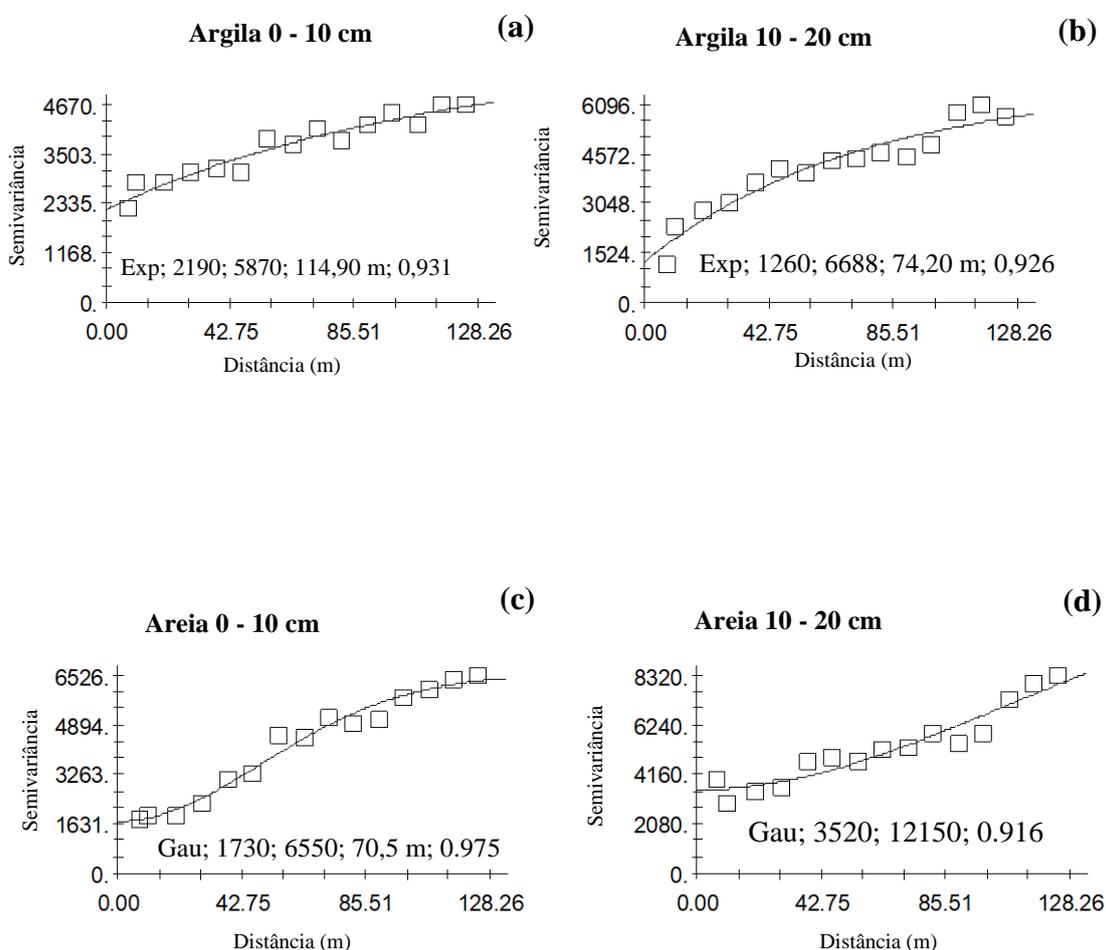
Campos et al. (2013) obtiveram alcance ainda menor para porosidade total (5,80 m) em Cambissolo Háplico cultivado com cana-de-açúcar na profundidade de 0 a 20 cm. Já em Latossolo Vermelho eutroférico também com cana-de-açúcar Souza et al. (2004a) verificaram alcance de 27 m, forte dependência espacial e ajuste ao modelo esférico.

Em relação a matéria orgânica do solo (MOS) na área do pivô central, segundo os quesitos da geoestatística obteve-se moderada dependência espacial. Na profundidade de 0 a 10 cm obteve ajuste ao modelo exponencial (Figura 4m) com alcance de 104 m, enquanto que na profundidade de 10 a 20 cm os dados se ajustaram ao modelo gaussiano com alcance de 21,3 m (Figura 4n). A alta amplitude de alcances entre profundidades amostrais do solo assemelha-se ao atributo de Ds do presente trabalho. Conforme observado anteriormente o maior alcance na camada de 0 a 10 cm pode estar relacionada à homogeneização do solo devido ao manejo convencional de preparo.

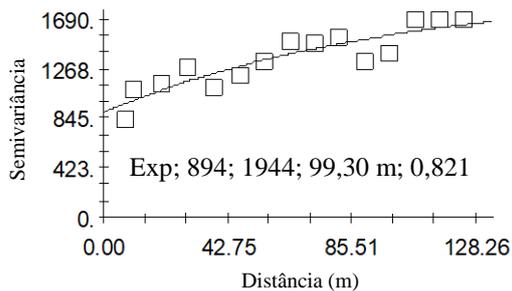
Souza et al. (2004b) ao avaliar diferentes solos e relevos constaram para MOS ajuste ao modelo esférico na profundidade 0 a 20 cm com alcance de 77 m e moderado grau de dependência espacial segundo a amostragem realizada. Os autores concluíram a partir da análise em outras profundidades que a faixa superficial apresenta os maiores alcances para matéria orgânica, em concordância com o presente trabalho. Souza et al. (1998) ao estudar diferentes tipos de manejo em um Latossolo encontraram no preparo

convencional para matéria orgânica ajuste ao modelo esférico e alcance de 3,8 m para uma área experimental e 30 m para outra.

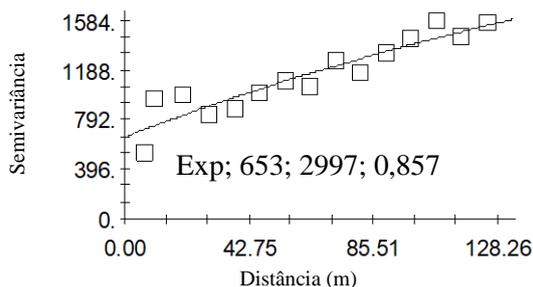
Sobre o atributo taxa de infiltração aos 19 minutos (Figura 4o) obteve-se moderada dependência espacial, com ajuste ao modelo gaussiano e alcance de 20 m. No entanto, há poucos trabalhos de geoestatística na literatura sobre esse atributo, muito possivelmente, pela grande sensibilidade a diferentes fatores no solo. Dentre eles o efeito da fauna do solo, camadas compactadas pela mecanização agrícola etc. que podem trazer grande amplitude para os dados que não são condizentes com as condições naturais intrínsecas à pedologia (Panachuki, 2003).



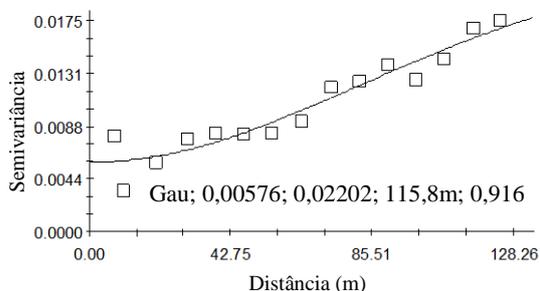
Silte 0 - 10 cm (e)



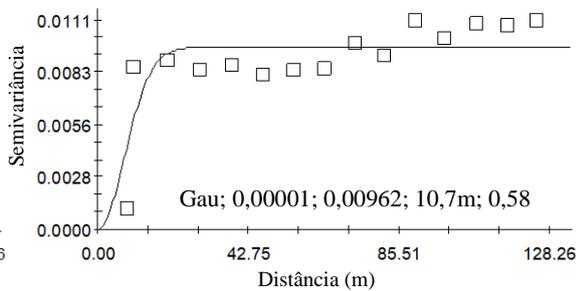
Silte 10 - 20 cm (f)



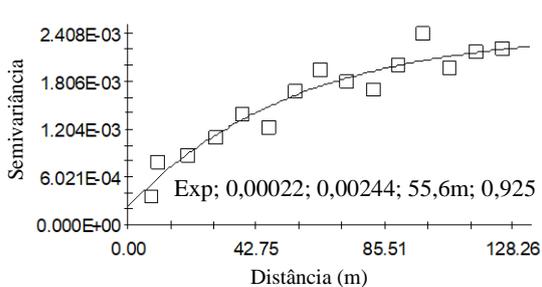
Densidade do solo 0 - 10 cm (g)



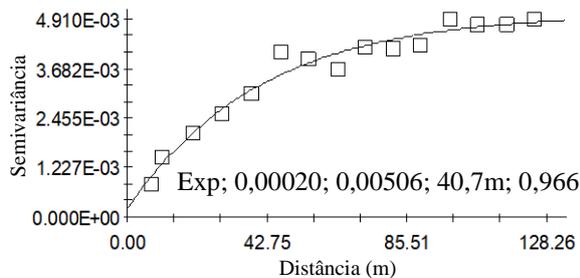
Densidade do solo 10 - 20 cm (h)



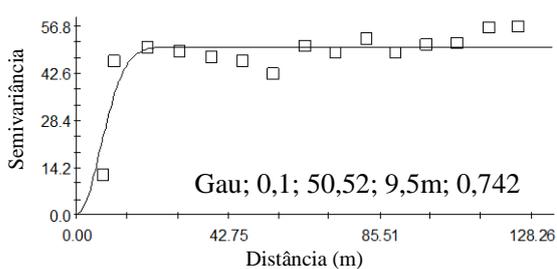
Densidade de partículas 0 - 10 cm (i)



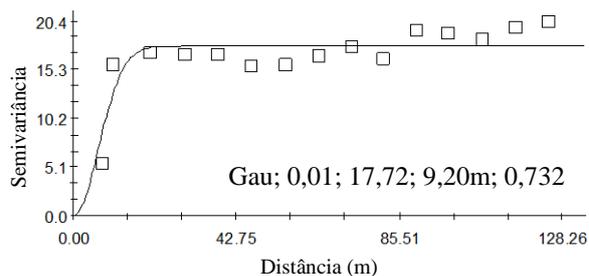
Densidade de partículas 10 - 20 (j)



Porosidade total 0 - 10 cm (k)



Porosidade total 10 - 20 cm (l)



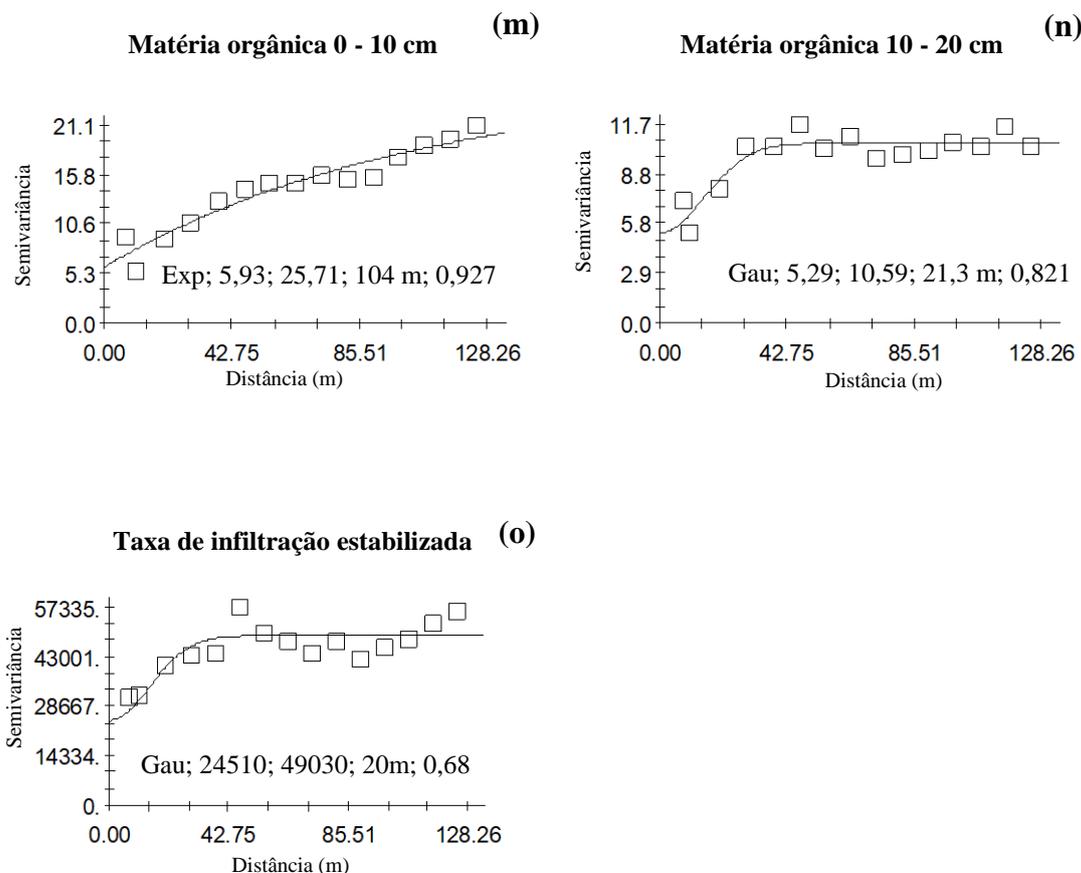


Figura 4. Semivariogramas experimentais ajustados (Modelo teórico; Co - efeito pepita; Co+C - patamar; Ao - alcance; r^2 - índice de determinação)

O índice de determinação, indica o quanto o modelo se ajustou ao conjunto de dados. Por isso quanto mais próximo de 100% for esse dado, maior é a confiança nos resultados geoestatísticos.

Tabela 3. Índice de dependência espacial e classificação segundo Zimback (2001)

ATRIBUTO	IDE	Classe IDE
ARG1	63%	Moderado
ARG2	81%	Forte
ARE1	74%	Moderado
ARE2	71%	Moderado
SIL1	54%	Moderado
SIL2	78%	Forte

DS1	91%	Forte
DS2	99,9%	Forte
DP1	90,9%	Forte
DP2	96%	Forte
PT1	99,8%	Forte
PT2	99,9%	Forte
MO1	77%	Forte
MO2	50%	Moderado
TI19	50%	Moderado

O índice de dependência espacial de silte e argila de 10 a 20 cm, densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total e MOS de 0 a 10 cm foram considerados de forte dependência espacial (Tabela 3). Isso indica que a amostragem da área precisa ser mais criteriosa para esses atributos e não de forma aleatória, considerando a gleba homogênea.

Guimarães et al. (2016) sugeriram outra fonte de variação para a densidade de solo, que foram os tipos de solo sob pastagem. Para Cambissolo e Latossolo o grau de dependência espacial encontrado foi o moderado, já para Argissolo foi fraco. Os modelos ajustados e alcances também variaram entre os tipos de solo. O modelo de ajuste para o cambissolo foi o gaussiano com o menor alcance (69,6 m) e Argissolo e Latossolo se ajustaram ao modelo esférico, sendo o Latossolo o representante do menor alcance (35,7 m). Esse resultado demonstra que nem sempre o menor grau de dependência espacial apresenta o maior alcance.

4.3 Classificação do Solo e Análise da Espacialização dos Atributos Físico-Hídricos

A classificação do solo realizada por quadrante (ver ANEXOS) segundo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SiBCS) constatou que o solo do quadrante 4 pertence ao grupo dos Argissolos Vermelhos e o restante dos quadrantes são Latossolos Vermelhos (Figura 3). Os Argissolos Vermelhos são solos de boa drenagem e a cor avermelhada ocorre devido aos óxidos de ferro. Já os Latossolos Vermelhos são solos profundos, porosos e bem drenados, indicados ao bom crescimento radicular. Suas características

comumente são uniformes e profundas e a cor avermelhada também é indicador da presença de óxido de ferro (Santos et al., 2015).

Em relação à distribuição espacial das frações granulométricas, pode-se observar que menores teores de argila ocorreram nos quadrantes 1 e 2 e maiores teores no quadrante 3 para a profundidade de 0 a 10 cm (Figura 5). Na profundidade de 10 a 20 cm (Figura 6) observou-se comportamento semelhante. O quadrante 3 foi o que apresentou maior teor de argila nas duas profundidades avaliadas (Figuras 5 e 6). Em contrapartida, resultados inversos à argila foram observados para o teor de areia (Figuras 7 e 8) na área do pivô. Ocorrência de maiores teores de areia nos quadrantes 1 e 2 (Figuras 7 e 8) podem ser explicados principalmente pela pedologia.

Nessa região, trincheira aberta para descrição de perfil constatou que o material de origem do solo abaixo 1,5 m de profundidade aproximadamente, apresenta descontinuidade litológica (Anexo C). Há presença de material de origem tipo sedimentos por meio de veio de cascalho e com parte apresentando seixo rolado.

Além disso o maior teor de areia de 0 a 10 cm, pode estar relacionado a maiores perdas por escorrimento superficial pois essa região apresenta declive maior à medida que se caminha do centro da área sentido Rio Verde (ver Figura 3). De acordo com Souza et al. (2004a), devido ao maior peso relativo da areia em relação à argila, a areia tende a possuir baixa mobilidade no solo enquanto que as frações mais leves como argila e silte tendem a ser mais móveis.

Em relação a avaliação da espacialização teor de silte (Figuras 9 e 10), percebe-se que essa fração apresenta menores valores no quadrante 1 e 4 para as duas camadas e maiores teores nos quadrantes 2 e 3. Essas diferenças podem estar relacionadas ao material de origem e significa que quanto menor o teor de silte maior o grau de intemperismo do solo.

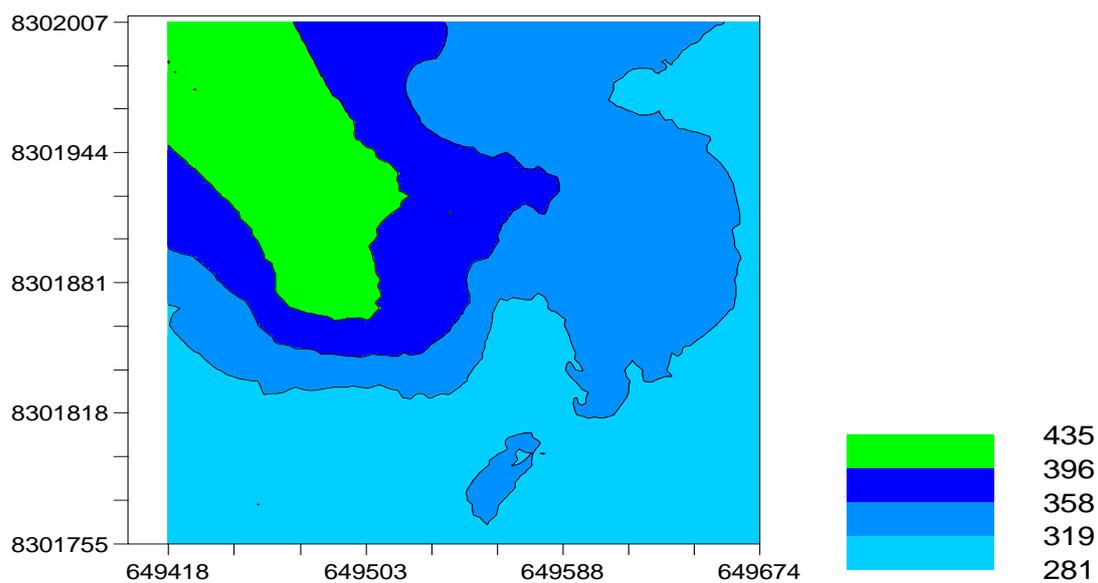


Figura 5. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar argila (g kg^{-1}) na profundidade de 0 - 10 cm

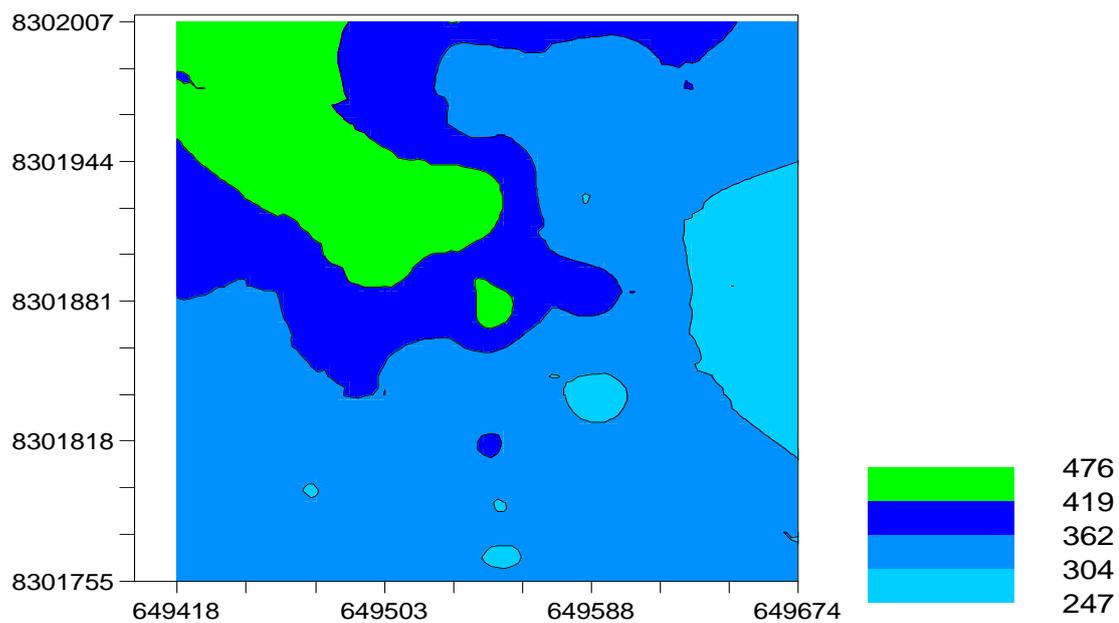


Figura 6. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar argila (g kg^{-1}) na profundidade de 10 - 20 cm

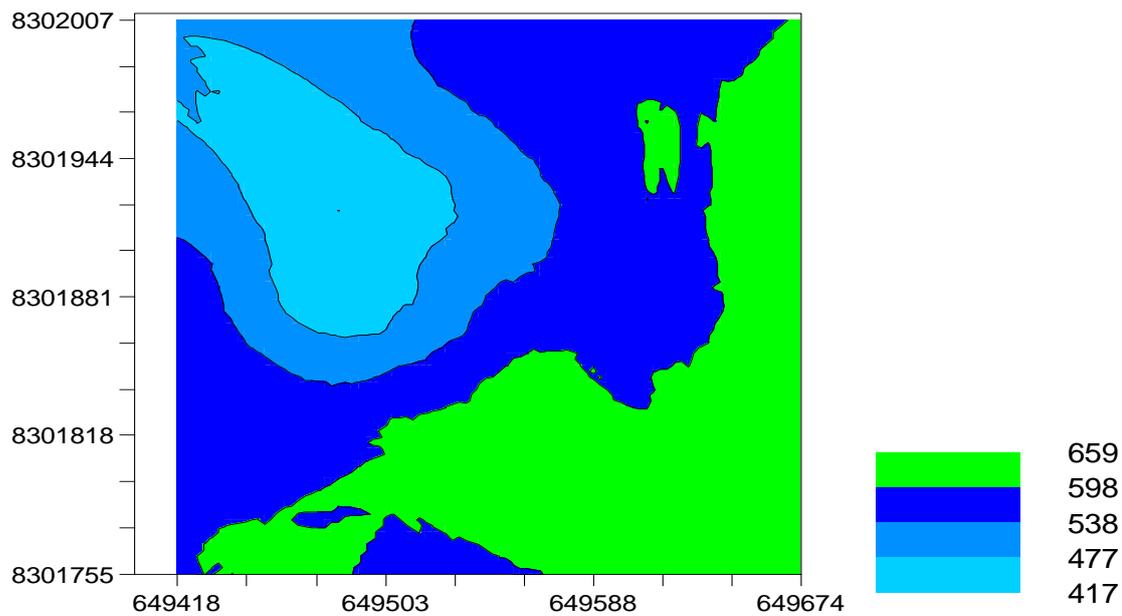


Figura 7. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar areia (g kg^{-1}) na profundidade de 0 - 10 cm

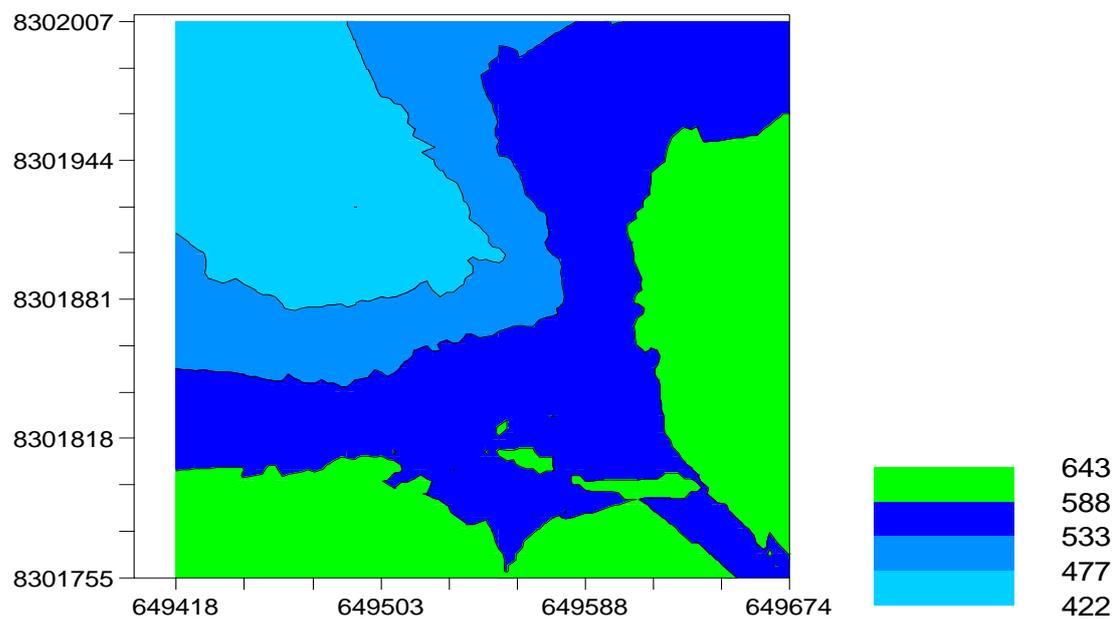


Figura 8. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar areia (g kg^{-1}) na profundidade de 10 - 20 cm

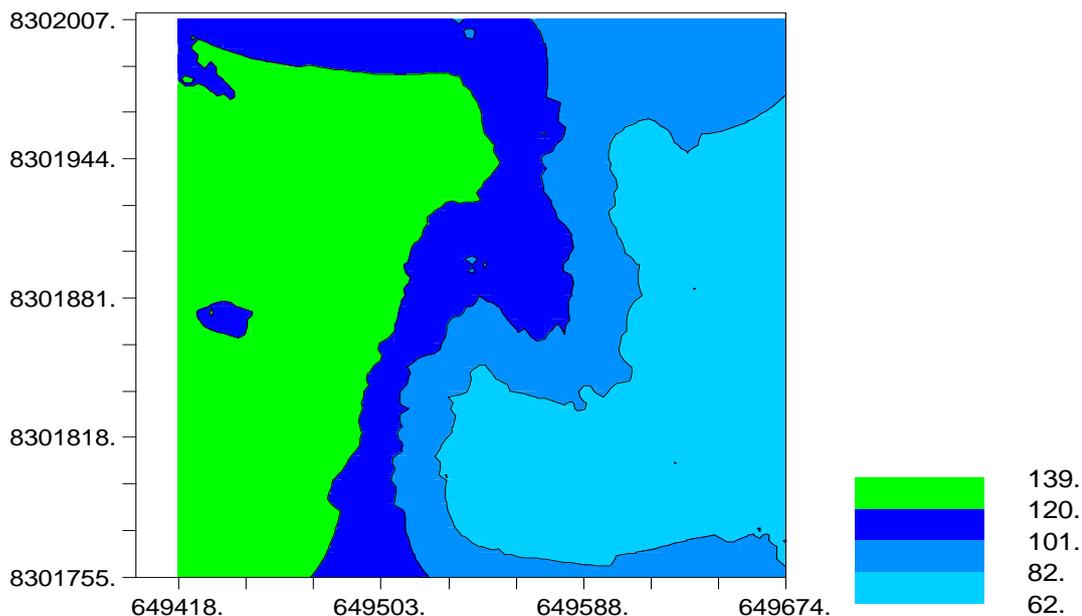


Figura 9. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar silte (g kg⁻¹) na profundidade de 0 - 10 cm

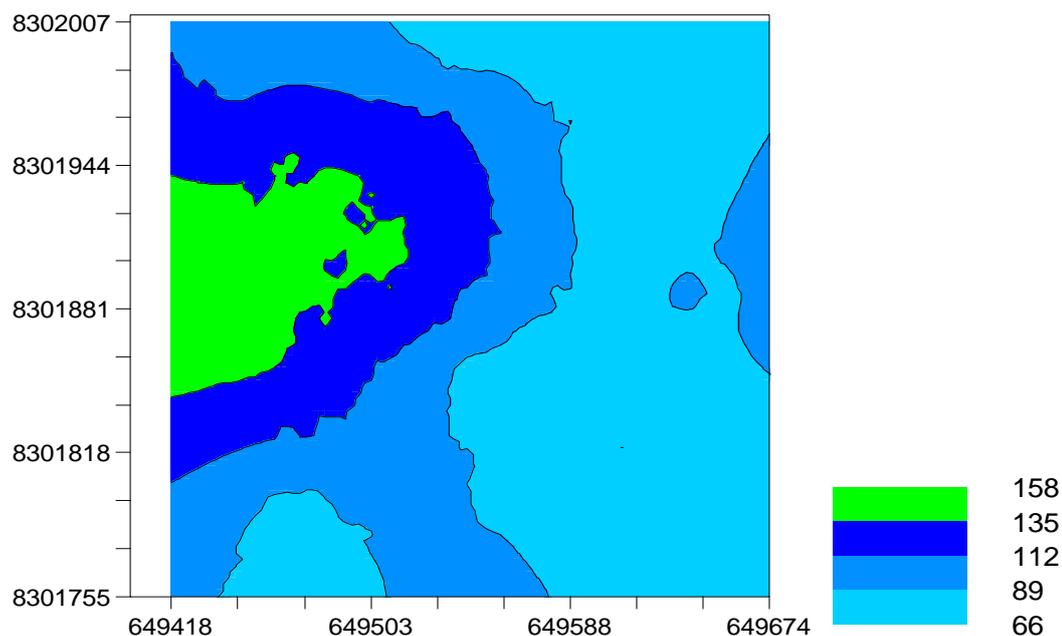


Figura 10. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar silte (g kg⁻¹) na profundidade de 10 - 20 cm

Ao analisar o mapa de densidade de solo na camada de 0 a 10 cm, nota-se menores valores nos quadrantes 2 e 3, e maiores na região entre o primeiro e o quarto quadrantes. Na profundidade de 10 a 20 cm, observa comportamento similar à primeira profundidade com os valores mais elevados cobrindo por quase inteiros os quadrantes 1 e 4. Esta região

apresenta maior frequência de tráfego por situar estrada de acesso à torre do pivô central (ver Figura 2). Além disso, estes quadrantes (1 e 4) vêm sendo utilizados antes mesmo da instalação do pivô central como área de produção irrigada por aspersão convencional para produção de milho para silagem e grãos para consumo do IF Goiano – Campus Ceres. De acordo com Junqueira Júnior et al. (2010), a densidade do solo é fortemente influenciada pelo manejo e ocupação do solo, e por isso também é considerada um bom indicador das condições de manejo do solo.

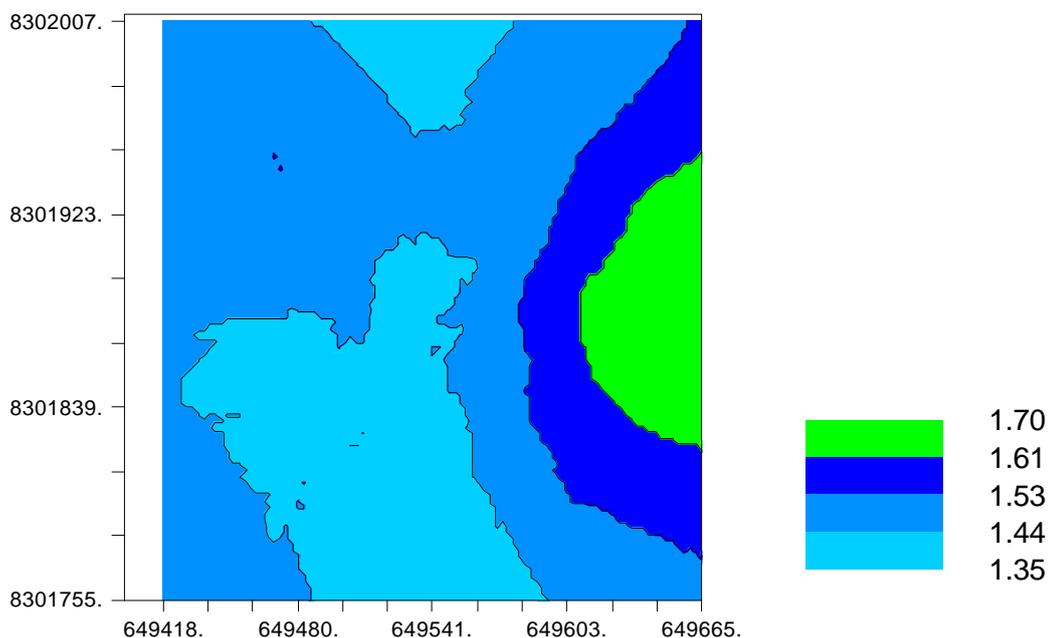


Figura 11. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar densidade do solo em kg dm⁻³ na profundidade de 0 - 10 cm

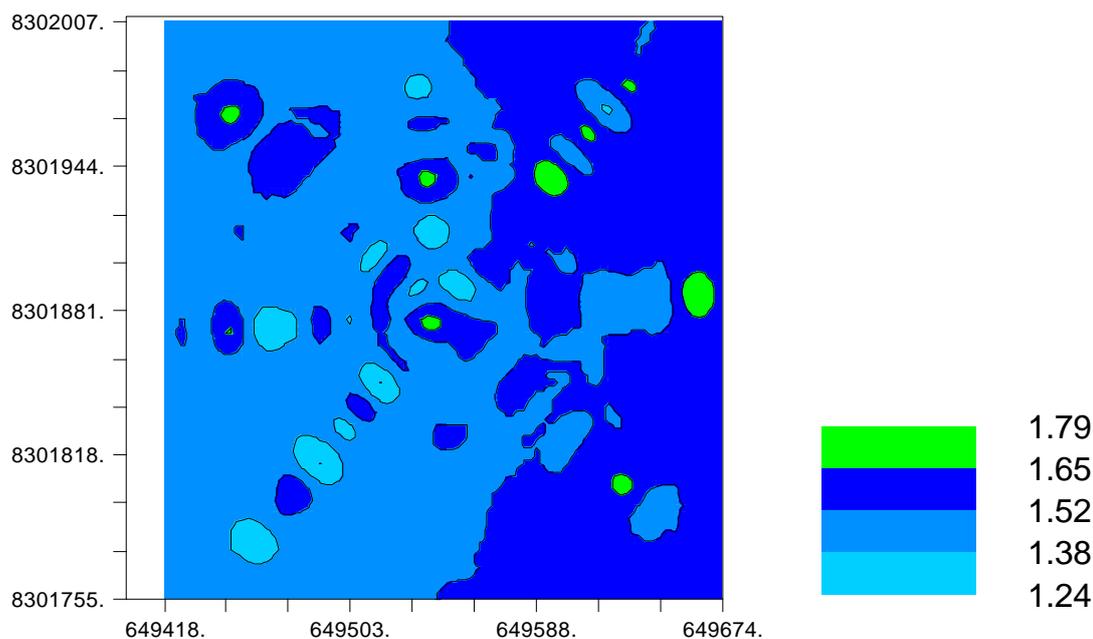


Figura 12. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar densidade do solo em kg dm⁻³ na profundidade de 10 - 20 cm

Os mapas de densidade de partículas (D_p) nas duas profundidades apresentam maiores valores principalmente no primeiro, segundo e parte do quarto quadrante, na profundidade de 0 a 10 cm. É possível correlacionar os valores mais altos deste atributo aos locais onde há maior teor de areia nessa área (Figuras 7 e 8). De acordo com Reichardt (1996) a DP é mais influenciada pela sua constituição mineralógica e pelo conteúdo de matéria orgânica que por alterações mecânicas do preparo de solo. No caso, a areia possui maior densidade específica devido ao seu material de origem quando comparada às demais frações granulométricas. Na profundidade de 10 a 20 cm esse atributo apresenta variação, mas não muda muito o aspecto geral em relação à camada superficial.

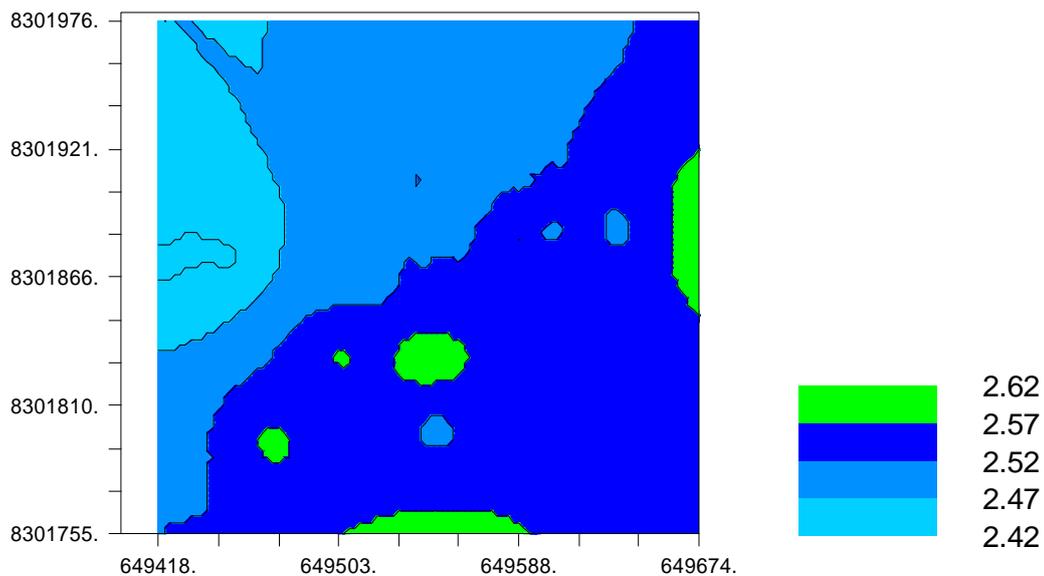


Figura 13. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar densidade de partículas em kg dm^{-3} na profundidade de 0 - 10 cm

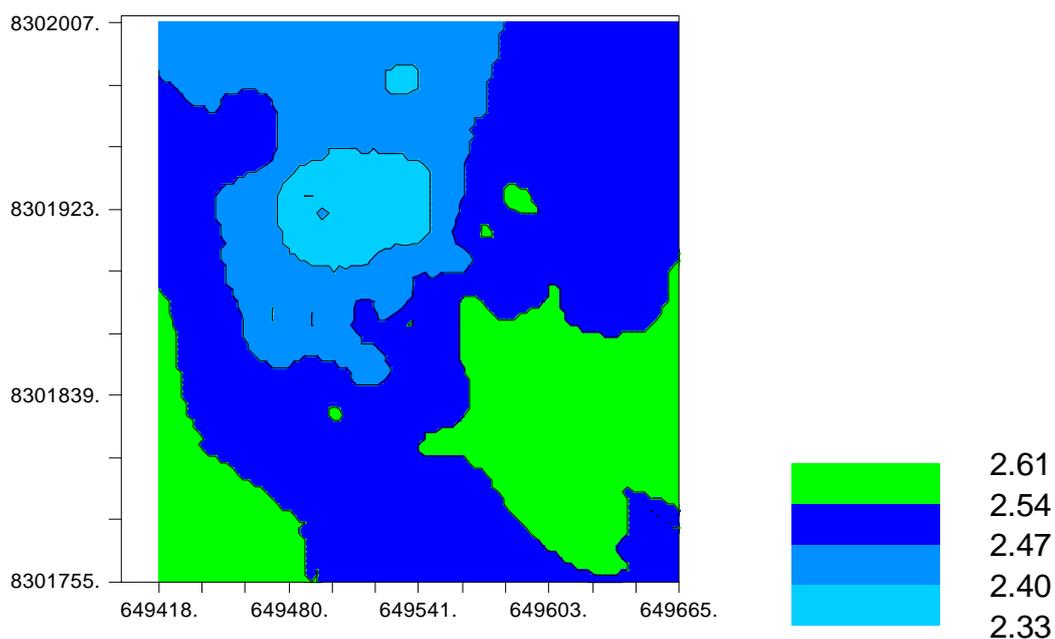


Figura 14. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar densidade de partículas em kg dm^{-3} na profundidade de 10 - 20 cm

Ao avaliar o mapa de porosidade total nota-se poucas classes de variação, predominando em toda a área, com exceção do segundo quadrante, valores de PT na faixa de 35,6 a 43,6 %. Esse atributo pode ser considerado razoável para crescimento vegetal por estar abaixo dos 50% conforme proposto por Kiehl (1979) e acima dos 10% proposto

por Baver (1966). Esse resultado coincide com os menores valores de D_s no quadrante 2, sendo esses dois fatores inversamente correlacionados.

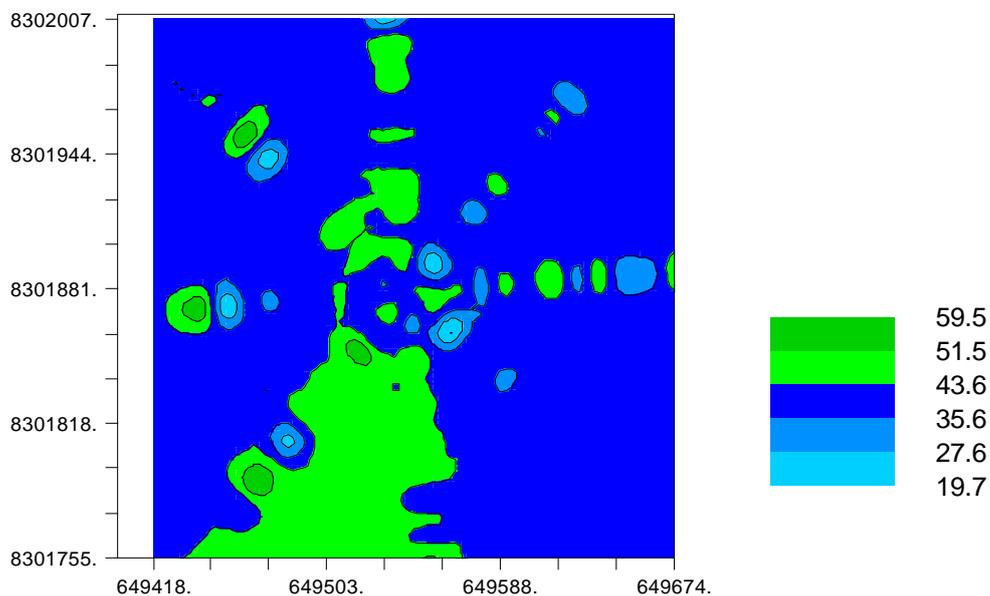


Figura 15. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar porosidade total em % na profundidade de 0 - 10 cm

O maior valor apresentado para porosidade total no quadrante 2 na camada de 0 a 10 cm, e principalmente na de 10 a 20 cm, indica se relacionar também de maneira forte com a pedologia local. Nessa região do estudo há ocorrência de descontinuidade litológica evidenciado por veio de seixo rolado na profundidade de 1,5 m da superfície, conforme discutido anteriormente.

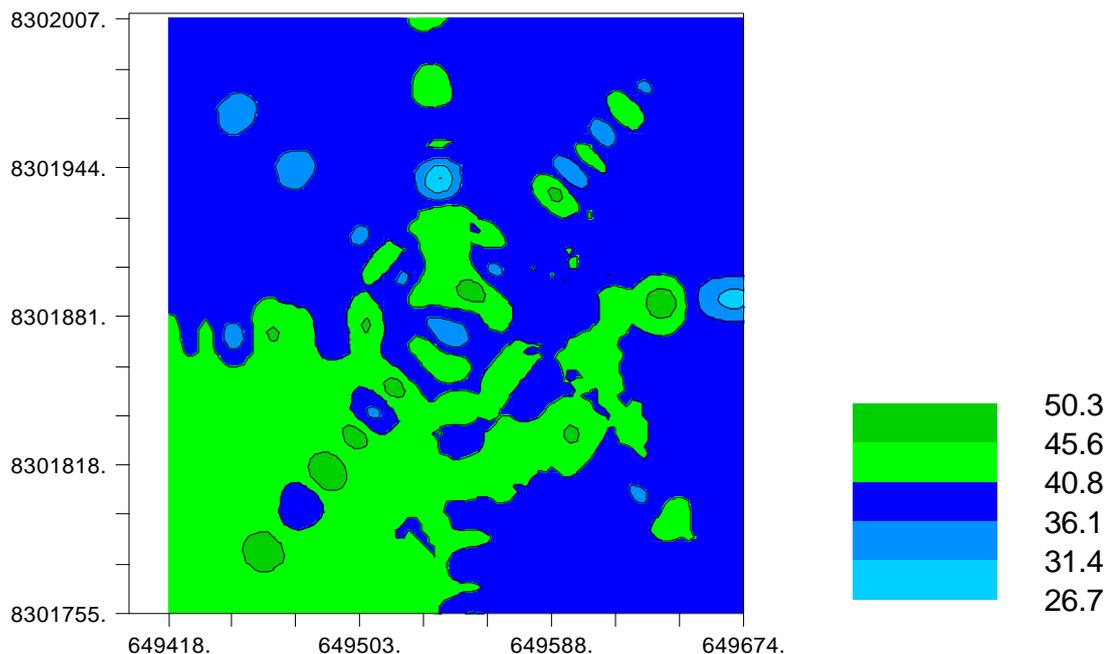


Figura 16. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar porosidade total em % na profundidade de 10 - 20 cm

Em avaliação da espacialização para matéria orgânica do solo (MOS), é possível constatar que na camada de 0 a 10 cm o lado direito da área (quadrantes 1 e 4) se encontra mais degradado que os demais. Na camada de 10 a 20 cm essa redução ficou mais contida no primeiro quadrante. De forma geral pode-se notar uma certa correlação dos dados de D_s com os de MOS, apresentando nesses locais maiores valores de D_s . Em contrapartida, o lado esquerdo do mapa, onde se localizam o segundo e o terceiro quadrante, mostraram menores valores de densidade do solo e maiores de MOS, indicando maior qualidade melhor do solo, já que a matéria orgânica favorece a agregação do solo, entre outros fatores, o que aumenta a porosidade (Lemos Filho, 2017). Isso significa dizer também que nessa região se espera maior retenção de água no solo associado ao maior teor de argila, o que implicará diretamente no manejo de irrigação.

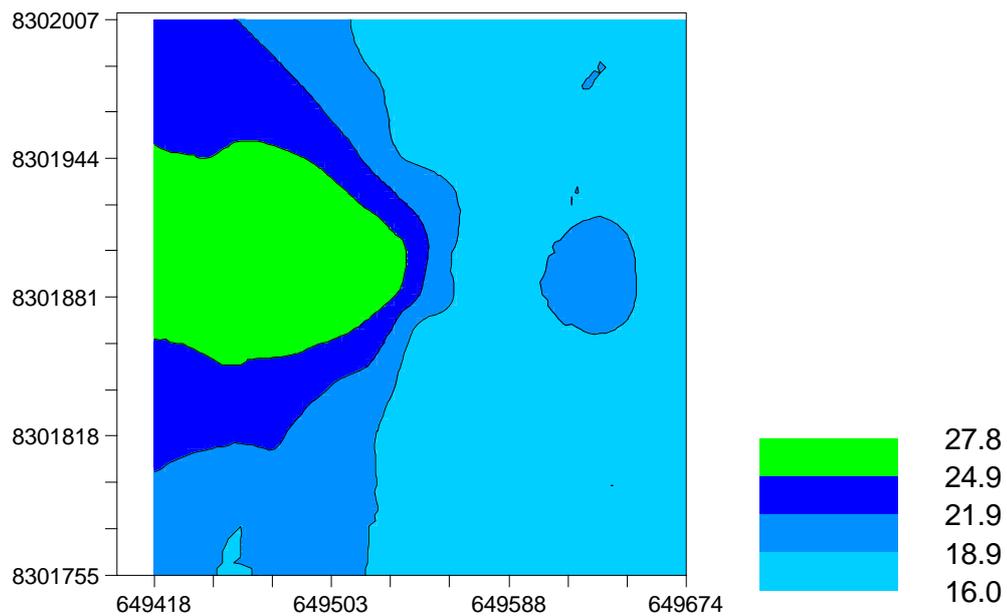


Figura 17. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar matéria orgânica em g kg^{-1} na profundidade de 0 - 10 cm

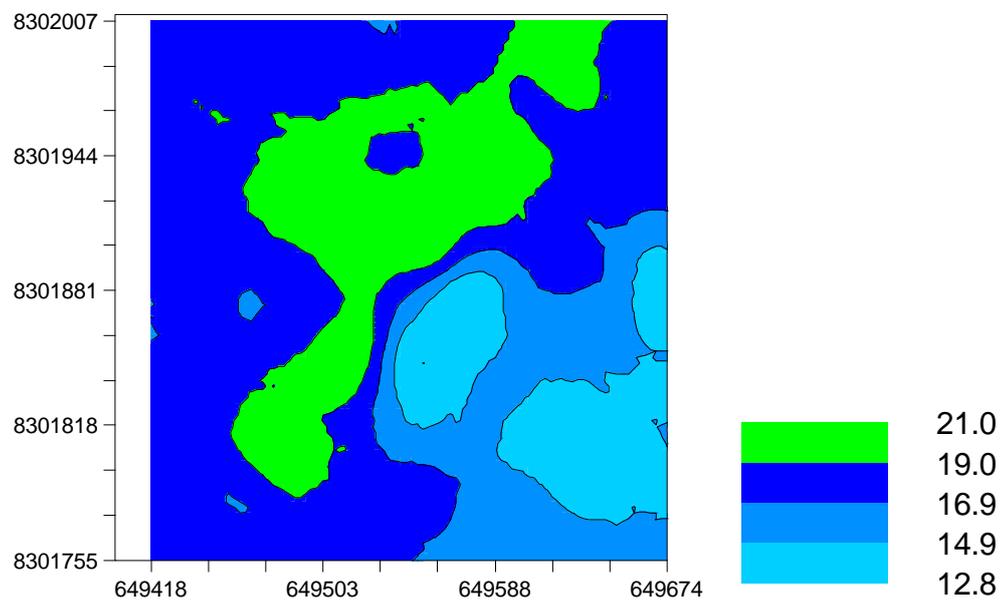


Figura 18. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar matéria orgânica em g kg^{-1} na profundidade de 10 - 20 cm

Ao analisar o mapa de taxa de infiltração aos 19 minutos verifica-se que o maior valor está localizado no quadrante 1 e o menor no 3°. Esses resultados estão coerentes com o que seria esperado, tendo em vista que esses locais são onde estão, respectivamente, maiores e os menores valores de areia, silte e argila, que influenciam uma maior ou menor infiltração de água no solo. A argila e porosidade total apresentaram correlação de *Pearson* positiva e significativa com TI19, sendo argila de 0 a 10 cm com $r=0,64$, porosidade total 0 a 10 cm com $r=0,75$ e porosidade total 10 a 20 cm com $r=0,90$ sendo consideradas altas. Isso mostra a influência tanto de fatores intrínsecos quanto fatores facilmente manejáveis na aplicação de irrigação.

A faixa de magnitude dos resultados encontrados de TI19, embora não seja a taxa estabilizada, indica boa margem para aumento da taxa de aplicação dos sistemas de irrigação sem que ocorra escoamento superficial, já que apresenta infiltração muito rápida segundo o sistema de classificação proposto por USDA.

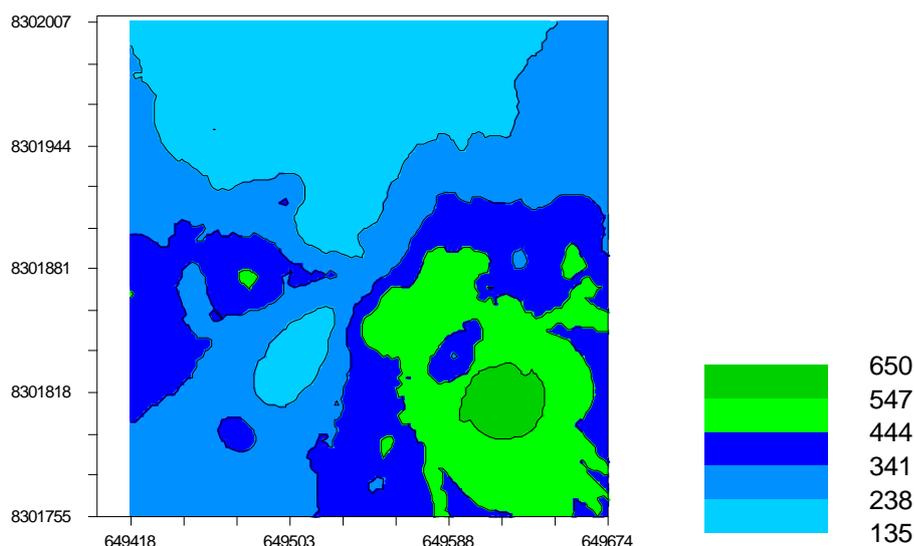


Figura 19. Mapa usando interpolação por krigagem para caracterizar taxa de infiltração aos 19 min em mm h^{-1}

No quadrante 4, onde se tem um Argissolo Vermelho que são solos que apresentam horizonte Btextural, ou seja, de acúmulo de argila. Essa característica morfológica dessa classe de solo geralmente influencia na infiltração de água no solo, apresentando menores valores de infiltração relativo ao horizonte Bt. Provavelmente o tempo de 19 min, por ser relativamente curto, não foi suficiente para expressar essa característica.

De forma geral, a área estudada apresenta heterogeneidade em características físico-hídricas e seu conhecimento pode contribuir para adoção de medidas que considere essas diferenças, principalmente às relacionadas a água no solo, podendo com isso, melhorar o manejo e buscar uma agricultura mais sustentável.

5. CONCLUSÃO

- 1) A análise geoestatística se mostra apropriada ao presente estudo para identificar a dependência espacial dos atributos. Os modelos gaussiano e exponencial são os mais adequados aos dados.
- 2) O atributo areia e silte na profundidade de 10 a 20 cm não possuem alcance, indicando homogeneidade decorrente do manejo convencional do solo.
- 3) A taxa de infiltração aos 19 minutos apresenta correlação positiva com argila e porosidade total.
- 4) A variabilidade dos atributos físico-hídricos na área indica presença de desuniformidade em relação a características físico-hídricas e de matéria orgânica, o que pode ser útil na tomada de decisão na implantação de experimentos futuros e manejo de irrigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, S. L. Propriedades hídricas e mecânicas afetadas por sistemas de manejo e variabilidade espacial de um Argissolo. Santa Maria-RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 65p. Dissertação Mestrado.

Alcarde, J. C.; Guidolin, J. A.; Lopes, A. S. Os adubos e a eficiência das adubações. 3.ed. São Paulo: ANDA, 1998. (Boletim Técnico, 3).

Alves Sobrinho, T.; Vitorino, A. C. T.; De Souza, L. C. F.; Gonçalves. M. C.; De Carvalho, D. F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.7, n.2, p.191-196, 2003.

Amaro Filho, J.; Negreiros, R.F. D.; de Assis Júnior, R. N.; Anunciato Mota, J. C. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho em Mossoró, RN. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.31, n.3, p.415-422, 2007.

ANA Agência Nacional das Águas. Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil, 2014. Relatório Síntese. Brasília: ANA, 2016. 33p.

Andreux, F. Humus in world soil. In: Piccolo, A. (Ed.) Humic substances in terrestrial ecosystems. Amsterdam: Elsevier, 1996. p. 45-100.

Andriotti, J.L.S. Notas de Geoestatística. Acta Geologica Leopoldensia. Ano XXV, v.55, p.3-14, 2002.

Arshad, M. A.; Lower, B.; Grossman, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran, J.W.; Jones, A.J. (Eds.). Methods for assessing soil quality. Soil Science Society of America, 1996, p.123- 141.

Arshad, M. A & Coen, G. M. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. American Journal of Alternative Agriculture, v.7, n.1-2, p.25-31, 1992.

Armindo, R. A. Desenvolvimento de um aspersor de taxa variada para irrigação de precisão. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009. 98 p. Tese Doutorado.

Ashburner, J.E; Sims, B. G. Elemento de diseño del tractor y herramientas de labranza. San José: IICA, 1984. 473p.

Baver, L.D. Soil Physics. 3.ed. New York: John Wiley, 1966. 489p.

Bayer, C;Mielniczuk, J.; Martin-Neto, L. Efeitos de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.24, p.599-607, 2000.

Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. 8.ed. Viçosa: UFV, 2013. 611p.

Bertolani, F. C. & Vieira, S. R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte a, em um Argissolo vermelho-amarelo, sob diferentes usos. Revista Brasileira Ciência Solo, v.25, p-987-995, 2001.

Brady, N.C. Natureza e propriedades dos solos. 6.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983. 647p.

Calheiros, C. B. M.; Tenório, F. J. C.; Cunha, J. L. X. L.; Silva, E. T. da; Silva, D. F. DA; SILVA, J. A. C. da. Definição da taxa de infiltração para dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, p. 665 - 670, 2009.

Camargo de, O. A.; Alleoni, L. R. F. Causas da Compactação do Solo. 2006, Artigo em Hypertexto. Disponível em: infobibos.com/Artigos/CompSolo/C3/Comp3.htm. Acesso em: 05 jun.2017.

Campos, M. C. C.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T.; Montanari, R.; Siqueira, D. S. Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. *Revista Ciência Agronômica*, v.38, n.2, p.149-157, 2007.

Campos, M. C. C.; Oliveira, I. A.; De Aquino, R. E.; Bergamin, A. C.; Da Silva, D. A. P. Distribuição espacial de atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. *Revista Agro@mbiente On-line*, v.7, n.2, p.119-128, maio-ago.2013.

Castione, A. F.; Souza, Z. M.; SILVA, R. B.; Campos, M.C.C; Cunha, J.M. Variabilidade espacial da textura do solo em área irrigada por pivô central em diferentes posições na paisagem. *Revista Agro@mbiente on-line*. v.9, n.3, p.219-226, jul-set.2015.

Carter, V. H. Classificação de solos para irrigação. Brasília, DF: Secretaria de Irrigação, 1993. 208p.

Carvalho, E. J. M.; Figueiredo, M. S.; Costa, L. M. Comportamento físico-hídrico de um Podzólico vermelhoamarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.34, n.2, p.257-265, fev. 1999.

Cavalcante, E. G. S.; Alves, M. C.; Souza, Z. M.; Pereira, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba (UFPB) Ccsa, v.15, n.3, p.237-243, 2011.

Cherubin, M. R.; Santi, A. L.; Eitelwein, M. T.; Da Ros, C. O.; Bisognin, M. B. Sampling grids used to characterise spacial variability of pH, Ca, Mg and % in Oxisoils. *Rev. Bras. Cienc. Agron.*, v.45, n.4, p.659-672, Dec.2014.

Chung, C. K.; Chong, S. K.; Varsa, E. C. Sampling strategies for fertility on a stoy silt loam soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.26. n.5-6, p.741-763, 1995.

Coelho, R. D.; Miranda, J. H. de; Duarte, S. N. Infiltração da água no solo: Parte 2. Acúmulo de água sobre a superfície do terreno. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.2, p.142-145, 2000.

Conceição, P. C. Agregação e proteção da matéria orgânica em dois solos do sul do Brasil. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 138p. Tese Doutorado.

Corá, J. E.; Araújo, A. V.; Pereira, G. T.; Beraldo, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004.

Couto, E. G. & Klamt, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do Estado de Mato Grosso. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.34,n.12, p.2321-2329, 1999.

Cressie, N. *Statistics for spatial data*. New York: John Wiley, 1991. 920p.

Cruz, J. S; Assis Júnior, R. N.; Matias, S. S. R.; Camacho-Tamayo, J. H.; Tavares, R. C. Análise espacial de atributos físicos e carbono orgânico em Argissolo Vermelho cultivado com cana-de açúcar. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, v.34, n.2, p.271-278, mar-abr, 2010.

Dalbiano, L. Variabilidade Espacial E Estimativa da Condutividade Hidráulica e Caracterização Físico-Hídrica de Uma Microbacia Hidrográfica Rural. Santa Maria-RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2009. 116p. Dissertação Mestrado.

D'Andréa, A.F.; Silva, M. I. n.; Curi, N.; Guilherme, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa agropecuária Brasileira*, Brasília, v.39, n. 2, p.179-186, fev.2004.

Da Mata, J.D.V.; Gonçalves, A.C.A.; Vieira, S.R. Variabilidade espacial da macroporosidade do solo em área irrigada, antes do preparo e após colheita, sob dois sistemas de preparo. *Acta Scientiarum*, Maringá, v.20, n.3, p.307-312, 1998.

De Bona, F. D. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. Porto Alegre-RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 150p. Dissertação Mestrado.

Dias, M. J.; Alves, S. M. F.; Reis, E. F.; Oliveira, D. G. Probabilidade de ocorrência dos atributos químicos em um Latossolo sob plantio direto. *Ver. Caatinga*. Vol. 28, n. 4, p. 181-189. 2015.

Doran J.W.; Parkin T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. p. 3-21. In: Doran J.W.; Coleman, D.C.; Bezdicek, D.F.; Stewart, B.A. (Editors). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America Special Publication 35, ASA-SSSA, Madison, WI.

Eguchi, E.S.; Silva, E.L.; Oliveira, M.S. Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no Município de Lavras, MG. *Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande-PB, v.6, n.2, p. 242-246, 2002.

EMBRAPA. Manual de Métodos de análise do solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

Gondim, F. A., Comes-Filho, E., Marques, C. E., Prisco, T. J. Efeitos do H₂O₂ no crescimento e acúmulo de solutos em plantas de milho sob estresse salino. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 02, p. 373-381, 2011.

Gonçalves, A. C. A.; Folegatti, M. V.; Vieira, S. R. Padrões de amostragem e intensidade de krigagem na caracterização do armazenamento de água no solo, em área irrigada por pivô central. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v.23, n.3, p.485-495, 1999.

Grego, C.R.; Vieira, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.29, p.169-177, 2005.

Goovaerts, P. *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford: Oxford Press, 1997. 483p.

Guimarães, W. D.; Júnior, J. G.; Marques, E. A .G.; Terra, N .S. E R. B. A. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens. *Revista Ciência Agrônômica*, v.47, n.2, p.247-255, abr-jun, 2016.

Hakansson, I. Soil compaction control: objectives, possibilities and prospects. *Soil Technol.*, v.8, p.281-283, 1990.

Hillel, D. *Environmental soil physics*. New York: Academic Press, 1998 .771p.

Huijbregts, C. J. Regionalized variables and quantitative analysis of special data. In: Davis, J. C. & Mc Cullagh, M. J. (ed) *Display and analysis os special data*. John Wiley, p. 38-53, 1975.

IMB - Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Sócioeconômicos. Mapeamento de pivôs centrais dos Estados de Goiás e Distrito Federal em 2015. Informe técnico n.10, 2017.

INGAREMO, O. E. Indicadores físicos de la degradación de suelo. La Coruña: Universidade da Coruña. 298p. 2003. Tese Doutorado.

Islam, K. R.; Weil, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.79, n.1, p. 9-16, 2000.

Junqueira Júnior, J. A.; Mello, C. R. de; Silva, A. M. da. Comportamento hidrológico de duas nascentes associadas ao uso do solo numa sub-bacia hidrográfica de cabeceira. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 16., São Luís. Anais... São Paulo: ABAS, 15p. 2010.

Kiehl, E.J. Manual de edafologia. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.

King, B.A.; Kincaid, D.C. A variable flow rate sprinkler for site-specific irrigation management. Applied Engineering in Agriculture, St. Joseph, v.20, n.6, p. 765-770, 2004.

Krige, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa, v. 52, p. 151-163, 1951.

Koorevaar, P., Menelik, G., Dirksen, C. Elements of soil physics. Developments in Soil Science. University of Wageningen. The Netherlands. Amsterdam: Elsevier, 1983. 228p.

Landim, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. Terra e Didática, v.2, n.1, p.19-23, 2006.

Leão, M.G.A.; Júnior, J.M.; Souza, Z.M.; Pereira, G.T. Variabilidade espacial da textura de um latossolo sob cultivo de citrus. Ciênc. Agrotec, Lavras, v.34, n. 1, p. 121-131, jan-fev, 2010.

Lepsch, I. F., Bellinazzi Jr, R., Bertolini, D., & Espíndola, C. R. (1983). Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Lepsch, I. F. Formação e conservação dos solos. São Paulo: Oficina de textos, 2016. 216p.

Lemos Filho, L. C. A.; Ferreira, L. L. N.; De Lyra, D. L. Variabilidade espacial de atributos do solo indicadores de degradação ambiental em microbacia hidrográfica. Revista Agro@mbiente On-line, v.11, n.1, p.11-20, jan-mar, 2017.

Lima, J. S. S.; Oliveira, R. B.; Silva, S. A. Variabilidade espacial das frações granulométricas de um latossolo Vermelho - Amarelo cultivado com café conilon. Rev. Ceres, Viçosa, v. 59, n.6, p. 867-872, nov/dez, 2012.

Lins Cunha, J. L. V.; Albuquerque, W.; Silva, C. A.; Araújo, E. de; Santos Júnior, R. B. dos. Velocidade de infiltração da água em um latossolo amarelo submetido ao sistema de manejo plantio diretor. Revista Caatinga, v.22, jan-mar.2009.

Loss, A.; Pereira, M. G.; Brito, R. J. de; Arinelli, G. P. Atributos químicos e físicos de solos de tabuleiros sob diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense.

Mantovani, E. C.; Bernardo, S.; Palaretti, L. F. Irrigação: princípios e métodos. 3ed. Viçosa: UFV, 2009. 355 p. In: Panachuki, E. Infiltração de Água no Solo e Erosão Hídrica, sob Chuva Simulada, em Sistema de Integração Agricultura-Pecuária. Dourados – MS: UFMS, 2003. 67p. Dissertação de Mestrado.

Martinez, C. V. O.; de Souza, V. F. Importância da classificação dos solos no sistema brasileiro e quanto a capacidade de uso da terra das propriedades rurais para o seu manejo sustentável. In: V EPCC Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar, Maringá, 2009.

Matheron, G. Les variables régionalisées et leur estimation. Paris: Masson, 1965. 306 p.

Mello, C. D.; Lima, J. M.; Silva, A. M.; Mello, J. M.; Oliveira, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intesas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, n.5, 2003.

Melo, W. J.; Marques, M. O.; Melo, V. P. O uso agrícola e as propriedades do solo. In: Tsutiya, M. T.; Comparini, J. B.; Alem Sobrinho, P.; Hespanhol, I.; Carvalho, P. de. C. T. de; Melfi, A. J.; Melo, W. J. de.; Marques, M. O. Biossólido na agricultura. São Paulo: Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo, 2001, p.289-363.

Michelon, C.J. Qualidade física de solos irrigados do Rio Grande do sul e do Brasil Central. Santa Maria-RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 92p. Dissertação Mestrado.

Mielniczuk, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, v. 1, p. 1-8, 1999.

Nanni, M. R.; Povh, F. P.; Demattê, J. A. M.; Oliveira, R. B. de; Chicati, M. L.; Cazar, E. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. *Scientia Agricola*, v.68, n.3, p.386-392, 2011.

Nicoloso, R. S.; Schneider, S.; Lanza Nova, M. E.; Girardello, V. C.; Bragagnolo, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1723-1734, 2008.

Oliveira de, R. P.; Grego, C. R.; Brandão, Z. N. Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o Vesper. Brasília-DF: Embrapa Solos, 2015. 159P. (Livro técnico INFOTECA-E).

Oliveira, I. R. de. Modelagem de incerteza da distribuição espacial de fósforo e potássio no solo sob a cultura canavieira. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2013. 71p. Tese Doutorado.

Orlando Filho, J.; Rodella, A. A análise química do solo e recomendação de adubação. In: Orlando Filho, J. (Coord.). *Nutrição e adubação da cana-deaçúcar no Brasil*. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool/Planalsucar, 1983. p. 155-178.

Ortiz, G. C. Aplicação de métodos geoestatísticos para identificar a magnitude e a estrutura da variabilidade espacial de variáveis físicas do solo. Piracicaba-SP : Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2002. 91p. Dissertação Mestrado.

Panachuki, E. Infiltração de água no solo e erosão hídrica, sob chuva simulada, em sistema de integração agricultura-pecuária. Dourados: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2003. 67p. Dissertação Mestrado.

Prado, H. Manejo dos solos: aspectos pedológicos e suas implicações. São Paulo: Nobel, 1991. 116p.

Primavesi, A. Manejo ecológico do solo: Agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel. 2002.

Primo, D. C.; Menezes, R. S. C.; Silva, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. Scientia Plena, v. 7, n. 5, 2011.

Ramirez-López, L.; Reina-Sánchez, A.; Camacho-Tamayo, J.H. Variabilidad espacial de atributos físicos de un typic haplustox de los llanos orientales de Colômbia. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.28, n.1, p.55-63, jan./mar.2008.

Reichardt, K. Infiltração da água no solo. In: Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas. 2ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1996. p.317-352.

Reinert, D. J.; Reichert, J. M. Propriedades físicas do solo. Santa Maria-RS:Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 18p.

Rengasamy, P. Clay dispersion in relation to changes in the electrolyte composition of dialysed red-brow earths. Journal os Soil Science, Oxford, v.34, p. 723-732, 1983.

Resende, T. M.; Rosolen, V. Degradação do solo pela conversão do cerrado em pastagem natural na bacia do ribeirão Bom Jardim (Triângulo Mineiro/MG)-DOI 10.5216/ag. v5i1. 13828. Ateliê Geográfico, v.5, n.1, 118-134, 2011.

Richart, A.; Tavares Filho, J.; Brito, O.R.; Llanillo, R.F.; Ferreira, R. Compactação do solo: causas e efeitos (Revisão). *Semina Ciências Agrárias*. Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, jul-set. 2005.

Robertson, G. P. *GS+: Geostatistics for the environmental sciences*. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA, 2008. 165p.

Rodrigues, K. M. Variabilidade espacial de atributos químicos, físicos e biológicos em voçoroca revegetada no município de Pinheiral. In: Rodrigues, K. M. Variabilidade espacial de atributos físicos, químicos e biológicos e a produtividade da cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônomo de Pós-Graduação, 2014. 176p. Tese Doutorado.

Rodrigues, L. N.; Pruski, F. F.; Silva, D. D. da; Martinez, M. A. GEOPIVO: modelo para simulação do desempenho de sistemas de irrigação tipo pivô central. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.5, n.3, p.397-402, 2001.

Rosa, D. P. da; Reichert, J. M.; Mentges, M. I.; Barros, C. A. P.; Reinert, D. J.; Vieira, D. A. Cultivo mínimo: Efeito da compactação e deformação abaixo da atuação da ponteira do subsolador. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.15, n.11, p.1199–1205, Campina Grande, PB, 2011.

Sampaio, E.P.M., *Mineralogia do Solo*. Departamento de Geociências. Portugal: Universidade de Évora, 2006. 22p.

Santos, K. S.; Montenegro, A. A. A.; Almeida, B. G. de; Montenegro, S. M. G. L.; Andrade, T. S.; Fontes-Júnior, R. V. de P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.8, p.828–835, 2012.

Santos, H. G. dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos; Oliveira, V. A. de; Lumberras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. de; Cunha, T. J. F.; Oliveira, J. B. de. Sistema

Brasileiro de Classificação de Solos. 3.ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

Santos, R. D. dos; Santos, H. G. dos; Ker, J. C.; Anjos, L. H. C. dos; Shimizu, S.H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 7 ed. rev. ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101p.

Santos, M. A. dos; Rodrigues, J. J. V. Comparação entre as densidades da partícula de seis solos no estado de Pernambuco obtidas pelo método clássico do picnômetro com água e o método do balão volumétrico com álcool etílico. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2009. 4p.

Santos, A. A. do E.;Lima, J.S.; Carvalho, G.C. de. Técnicas de aplicação de composto orgânico, proveniente de resíduos urbanos domésticos no desenvolvimento vegetal. In: VI Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 6, 2002, Vitória.

Schmidt, W.; Coelho, R. D.; Jacomazzi, M. A.; Antunes, M. A. H. Distribuição espacial de pivô centrais no Brasil: I -Região Sudeste. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 8, n. 2-3, p. 330-33, Campina Grande, 2004.

Silva C.R.; Quintas M.C.L.; Centeno J.A.S. Estudo do Método de Interpolação do Inverso da Distância a Uma Potência. Anais... II Simpósio Brasileiro de Geomática Presidente Prudente - SP. V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. p. 57-62, 2007.

Silva, F. de A. S. e.; Azevedo, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analyses of experimental data. Afr. J. Agric. Res., v.11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

Silva, M. A. S. da; Mafra, A. L.; Albuquerque, J. A.; Bayer, C.; Mielniczuk, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. Ciência Rural, v.35, n.3, mai-jun, 2005.

Soares, A. Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006. 214 p

Souza, Z. M.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T.; Barbieri, D. M. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.24, n.2, p.309-319, 2004a.

Souza, Z. M.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.39, n.5, p.491- 499, 2004b.

Srivastava, R. M. Describing spatial variability using geostatistics analysis. In: Srivastava, R. M.; Rouhani, S.; Cromer, M. V.; (eds) *Geostatistics for environmental and geotechnical applications*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials, 1996. p.13-19.

Steverson, F.J. *Humus Chemistry: genesis, composition, reactions*. 2.ed. New York: John Willey, 1994. 496p.

Stone, L.F. & Silveira, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.395-401, 2001.

SURFER, version 7.0. Golden Software, 1999. Conjunto de programas. 1 CD-Rom e manuais. (informações em <http://www.goldensoftware.com>).

Thomasson, A.J. Towards an objective classification of soil structure. *Journal of Soil Science*, v.29, p.38-46, 1978.

Tormena, C.A.; Barbosa, M.C.; da Costa, A.C.S.; Gonçalves, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Scientia Agricola*, v. 59, n. 4, p. 795-801, out-dez.2002.

UNITED STATES. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. *Soil survey manual*. Washington, 1951. 503p. (USDA. *Agriculture Handbook*, 18).

Vendrusculo, L. G. Desenvolvimento de um sistema computacional para análise geoestatística. Campinas-SP: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 2001. 101p. Dissertação Mestrado.

Verheye, W. Nature and Evolution of soils developed on the granite complex in the subhumid tropic (Iwry Coast). *Morphology and Classification pedology*. v. 24, n.3, p. 266-282, 1984.

Vieira, S.R.; Hatfield, T.L.; Nielsen, D.R. & Biggar, J.W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia, Berkeley*, v.51, p.1-75, 1983.

Vieira, L.S.; Santos, P.C.T.C. dos; Vieira, N.F. Solos: propriedades, classificação e manejo. Brasília: MEC/ABEAS, 1988.

Yamamoto, J. K.; Landim, P. M. B. Geoestatística: conceitos e aplicações. São Paulo: Oficina de textos, 2013. 215p.

Young, F.J.; Hammer, R.D. Defining geographic soil bodies by landscape position, soil taxonomy and cluster analysis. *Soil Science Society American Journal*. v.64, p. 989-998, 2000.

Warrick, A.W.; Nielsen, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic, Cap.2, p.319-344, 1980.

Webster, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. In: Stewart, B.A. (ed). *Advance in Soil Science*, v.3, p.1-70, 1985.

Zimback, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2001. 114p. Tese Livre Docência.

ANEXOS

Anexo A

DESCRIÇÃO GERAL

Perfil nº 1: QUADRANTE 01

DATA: maio de 2014.

CLASSIFICAÇÃO: Latossolo Vermelho.

LOCALIZAÇÃO: Rodovia GO-154 km 03, Zona Rural – Instituto Federal Goiano – Campus Ceres – GO, em área de culturas anuais, pivô central, próximo à suinocultura, coordenadas 15° 21' 17,6" S e 49° 36' 22,95" W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em trincheira, em início do terço médio com declividade menor que 3%, sob plantio de culturas anuais e experimentos em pastagem.

ELEVAÇÃO: 560 m.

LITOLOGIA: Rochas intermediárias a básicas.

FORMAÇÃO GEOLOGICA: Complexo Barro Alto.

CRONOLOGIA: Pré-cambriana.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano (<3%).

RELEVO REGIONAL: Suave a forte ondulado.

EROSÃO: Entresulcos (laminar).

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subcaducifólia.

USO ATUAL: Culturas anuais e experimentos em pastagem.

CLIMA: Aw (Köppen-Geiger): inverno seco e ameno, verão quente e chuvoso.

DESCRITO, COLETADO E CARACTERIZADO POR: Augusto Cesar Alves, Thiago. Oki Andrade, Danilo Antônio Cardoso Queiroz, Valéria Bonifácia Marra da Silva e Roriz Luciano Machado.

DESCRIPÇÃO MORFOLÓGICA

AB - 0 a 13 cm, bruno-avermelhado (2,5 YR 4/4, seco) e vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, úmido); média; forte; muito grande; blocos angulares; cerosidade fraca e pouca e; friável; ligeiramente dura; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plena e abrupta.

BA - 13 a 26,5 cm, vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, úmido); argilosa; moderado; grandes e blocos angulares; cerosidade fraca e pouca; friável, ligeiramente dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Bw₁ - 26,5 a 56,5 cm vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/4, úmido); argilosa; fraca, pequenos e granular e blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; friável, ligeiramente dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bw₂ - 56,5 a 85,5 cm vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/3, úmido); argilosa; fraca, pequenos e granular e blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bw₃ - 85,5 a 118,5 cm, bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4, úmido); argilosa; fraca, média e blocos subangulares; pouca e fraca; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bw₄ - 118,5 a 142,5 cm, bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido); argilosa; fraca, pequenos e granular; cerosidade fraca e pouca; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bw₅ - 142,5⁺ cm vermelho-escuro-acinzentado (10 R 3/3, úmido), argilosa; fraca, pequeno e granular; cerosidade pouco e fraca; macia, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

RAÍZES: Comuns e médias nos horizontes AB, BA e Bw₁; poucas e finas em B₂, raras e muito finas nos demais horizontes.

ANÁLISES QUÍMICAS

Horiz.	Profund.	pH	MO	Ca	Mg	Al	H+Al	K	T	K	P	V	m
	(cm)	em H ₂ O	g/dm ³	cmol _c /dm ³						mg/dm ³		%	
AB	0-13	5,3	14,8	2,9	0,8	0,1	3,8	0,4	7,9	160	32	52	1,2
BA	-26,5	5,3	8,3	2,5	0,6	0,1	3,1	0,3	6,4	100	9,8	52	1,5
Bw1	-56,5	5,4	6,3	2,2	0,5	0	2,5	0,2	5,4	70	5,1	5,3	0
Bw2	-85,5	5,4	3,8	2,2	0,3	0	2,1	0	4,6	10	1	54	0
Bw3	-118,5	6	2,7	2,6	0,1	0	1,8	0	4,5	10	0,5	60	0
Bw4	-142,5	4,9	2,4	1,4	0	0,2	2,8	0	4,2	10	0,3	34	12
Bw5	-142,5 +	4,8	2	1,2	0	0,3	5,2	0	6,4	10	0,3	18	18

ANÁLISES FÍSICAS

Horiz.	Composição Terra Fina (dispersão em NaOH)		
	Areia Fina	Silte	Argila
	(0,2-0,05mm)	(0,05-0,002mm)	(<0,002mm)
	g/kg		
A	544	106	349
BA	480	90	430
Bw1	475	93	432
Bw2	475	91	434
Bw3	479	81	441
Bw4	445	67	488
Bw5	442	61	497

Anexo B

DESCRIÇÃO GERAL

Perfil nº 2 - QUADRANTE 01 (Análise 02)

DATA: outubro de 2017.

CLASSIFICAÇÃO: 1ª Aproximação: Latossolo Vermelho.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Rodovia GO-154, km 3, S/N - Zona Rural, Ceres – GO, próximo a suinocultura, na área irrigada pelo pivô central - 15° 21' 15,55" S e 49° 36' 19,9" W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em trincheira, em início do terço médio com declividade menor que 3%, sob plantio de culturas anuais e experimentos em pastagem.

ELEVAÇÃO: 560 m.

LITOLOGIA: Rochas intermediárias a básicas.

FORMAÇÃO GEOLOGICA: Complexo Barro Alto.

CRONOLOGIA: Pré-cambriana.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano (<3%).

RELEVO REGIONAL: Suave a forte ondulado.

EROSÃO: Entresulcos (laminar).

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subcaducifólia.

USO ATUAL: Culturas anuais e experimentos em pastagem.

CLIMA: Aw (Köppen-Geiger): inverno seco e ameno, verão quente e chuvoso.

DESCRITO E COLETADO POR: Camila Gabriele Borba de Oliveira, Isabela Teixeira Oliveira, Micaele Marra de Moura, Sandra Myller Aparecida Alves, Tamires Martins Miranda e Roriz Luciano Machado.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A - 0-10 cm, vermelho-escuro-acinzentado (7,5R 3/4 úmida) e vermelho-escuro-acinzentado (7,5 R 3/3 seca); argilosa; forte, médios, blocos subangulares; extremamente duro, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; poros comuns e muito pequenos; transição plana e clara.

AB - 10-30 cm, vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3 úmida); argilosa; forte; pequenos blocos angulares e subangulares; muito dura, friável/firme, não plástica e ligeiramente pegajosa; poros comuns e muito pequenos; cerosidade fraca e pouca; transição plana e clara/gradual.

Bw1 - 30-65 cm, vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4 úmida); argilosa; forte; pequenos blocos angulares; ligeiramente dura, friável, não plástica e pegajosa; poros comuns e muitos; transição plana e gradual.

Bw2 - 65-135 cm, vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4 úmida); argilosa; forte muito pequenos a pequenos blocos angulares e subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; poros comuns e muitos; transição plana e gradual.

Bw3 - 135-180 cm, vermelho-escuro-acinzentado (7,5R 3/3 úmida); argilosa; forte/moderado; muito pequena granular; solta, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; poros comuns e muitos; transição plana e gradual.

RAIZES: raízes poucas e muito finas nos horizontes A e AB; e raras e muito finas no BA, Bw1, Bw2 e Bw3.

ANÁLISES FÍSICAS

Não realizadas.

ANÁLISES QUÍMICAS

Não realizadas.

Anexo C**DESCRIÇÃO GERAL**

Perfil nº 3: QUADRANTE 02.

DATA: maio de 2014.

CLASSIFICAÇÃO: Latossolo Vermelho.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Pivô próximo à sunicultura do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, GO-154, km 03, Ceres, Goiás. Latitude 15°21'18,82"S e Longitude 49°36'23,05"O.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Trincheira aberta no terço médio, de 3 a 8% de declive, cultura anual (Milho).

LITOLOGIA: Rochas máficas e ultra máficas.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Barro Alto.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa na superfície e abaixo de 1,80 m muito pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não há.

RELEVO LOCAL: Plano (<3%).

RELEVO REGIONAL: suave a forte ondulado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Boa drenagem.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subcaducifólia.

USO ATUAL: Cultura anual (milho pamonheiro).

CLIMA: Aw (Köppen-Geiger): inverno seco e ameno, verão quente e chuvoso.

DESCRITO E COLETADO POR: Pedro Gonçalves de Oliveira Neto, Tânia Barbosa Leite, Thais Honório da Silva e Roriz Luciano Machado.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A – 0 - 3 cm – bruno avermelhado escuro (2.5 YR 3/4, úmida), bruno avermelhado (2.5 YR 4/4, seca); franco argilosa; moderado, pequeno, blocos angulares; macia, muito

friável, ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica; cerosidade fraca e pouca; plana e abrupta.

AB – 3 - 14,5 cm – bruno avermelhado escuro (2.5 YR 3/4, úmida); franco-argilosa; forte, pequenos, blocos subangulares; macia, muito friável, ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica; cerosidade fraca e pouca; plana e clara.

BA – 14,5 - 27,5 cm — bruno avermelhado escuro (2.5 YR 3/4, úmida); argilosa; moderado, médio e blocos subangulares; dura, solta, ligeiramente pegajosa e plástica; cerosidade fraca e pouca; transição plana e clara.

Bw1 – 27,5 - 55,5 cm — bruno avermelhado escuro (2.5 YR 3/4, úmida); franco-argilo-arenosa; fraco, pequeno, blocos angulares e subangulares, ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica; cerosidade fraca e pouca; plana e gradual.

Bw2 – 55,5 - 78 cm – vermelho escuro (2.5 YR 3/6, úmida); argilosa; fraco, médio e granular e blocos subangulares; macia, muito friável e não pegajosa e ligeiramente plástica; cerosidade fraca e pouca; transição plana e clara.

Bw3 – 78 - 128,5 cm — vermelho escuro (2.5 YR 3/6, úmida), franco-siltosa; fraco, muito pequeno e granular; macia, solta, não pegajosa e não plástica; cerosidade fraca e pouca; ondulada e difusa.

Bw4 – 128,5 - 170,5 — bruno avermelhado escuro (2.5 YR 3/4, úmida); franco-argilosa; fraco, muito pequeno, granular; macia, solta, ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica; cerosidade fraca e pouca; ondulada e clara.

Bw5 – 170,5 – 188,5 cm+ - bruno avermelhado escuro (2.5 YR 3/4, úmida), franco-argilo-arenosa; moderado, muito pequeno e granular; macia, solta, não pegajosa, ligeiramente plástica; cerosidade fraca e pouca; plana e gradual.

OBSERVAÇÕES: Veio de cascalho (seixo rolado) no Horizonte Bw5.

ANÁLISES QUÍMICAS

Horiz.	Profund.	pH em H ₂ O	MO	Ca	Mg	Al	H+Al	K	T	K	P	V	m
	(cm)												
A	0 – 3,0	4,7	15,1	1,1	0,4	0,3	3,4	0,3	5,1	100	36	33,8	14,7
AB	3,0 – 14,5	4,8	10,8	1,2	0,4	0,4	4,2	0,3	6,1	100	32	30,6	17,7
BA	14,5 – 27,5	4,8	7,5	1,3	0,5	0,3	3,1	0,2	5	60	7,8	38,4	13,4
Bw1	27,5 – 55,5	5,4	5,4	1,3	0,5	0	2	0,1	3,8	20	0,9	47,7	0
Bw2	55,5 – 78,0	5,8	4,6	1,3	0,3	0	1,6	0	3,3	10	0,7	50,9	0
Bw3	78,0 – 128	5,4	4,5	0,4	0,1	0,2	2,5	0	2,9	10	0,9	14,5	26,1
Bw4	128 – 170,5	5	3,5	0	0	0,4	2,8	0	2,9	0	0,7	1,8	88,9
Bw5	170,5 – 188,5+	5	3	0	0	0,4	2,5	0	2,5	10	1	1	93,2

ANÁLISES FÍSICAS

Horiz,	Composição Terra Fina (dispersão em NaOH)			T	Atividade Fração Argila (cmol _c /kg)
	Areia Fina	Silte	Argila		
	(0,2-0,05mm)	(0,05-0,002mm)	(<0,002mm)		
	g/kg				
A	566	197	237	5,1	21,51
AB	529	179	292	6,1	20,89
BA	475	77	447	5	11,18
Bw1	517	168	315	3,8	12,06
Bw2	515	178	308	3,3	10,71
Bw3	500	179	321	2,9	9,03
Bw4	570	98	332	2,9	8,73
Bw5	514	190	296	2,5	8,44

Anexo D

DESCRIBÇÃO GERAL

Perfil nº 4: QUADRANTE 02.

DATA: maio de 2014.

CLASSIFICAÇÃO: Latossolo Vermelho.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Instituto Federal Goiano –Campus Ceres, rodovia GO 154, km 3, caixa postal 051, zona rural, Ceres – GO, Pivô central próximo a Suinocultura, 15°21'18" S e 49°36'26,15" W.

SITUAÇÃO E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em trincheira, sob milho, em terço médio de encosta sob milho irrigado.

LITOLOGIA: Rochas básicas e ultrabásicas do complexo Barro Alto.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo do Barro Alto.

CRONOLOGIA: Pré-cambriano.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE: Ausente.

ROCHOSIDADE: Ligeiramente rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano (<3%).

RELEVO REGIONAL: Suave a forte ondulado.

EROSÃO: Laminar.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subcaducifólia.

USO ATUAL: Culturas anuais (milho).

CLIMA: Aw (Köppen-Geiger): inverno seco e ameno, verão quente e chuvoso.

DESCRITO E COLETADO POR: Brena Cristine Rosário Silva, Bruna Ribeiro de Assis, Daiane Roberta Sobrinho, Jean de Souza Martins, Ramon Rocha da Silva, Vilson Matias Pinto e Roriz Luciano Machado.

DESCRIBÇÃO MORFOLÓGICA

A - 0–7 cm, vermelho escuro acinzentado (2,5YR 3/6 seca) e bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4 úmida); argilosa; moderado blocos subangulares e granular e pequenos; poros muito pequenos e comuns; dura, firme, ligeiramente pegajosa e plástica; cerosidade fraca e pouca; abrupta e plana.

AB - 7–17 cm, bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4 úmida); argilosa; moderado, grandes e blocos subangulares; poros muito pequenos e comuns; dura, firme, muito pegajosa e muito plástica; cerosidade fraca e pouca; gradual e plana.

BA - 17–45 cm, bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4 úmida); argilosa; moderado, médios e blocos subangulares; poros pequenos e comuns; macia, friável, pegajosa e plástica; cerosidade fraca e moderada; difusa e plana.

Bw1 - 45–84 cm, vermelho escuro (2,5 YR 3/6 úmida); argilosa; fraco, pequenos e blocos subangulares, poros pequenos e comuns; macia, friável, pegajosa e plástica; cerosidade fraca e pouca; difusa e plana.

Bw2 - 84–137 cm, bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4 úmida); argilosa; fraco, pequenos e blocos subangulares; poros pequenos e comuns; solta, muito friável, ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica; cerosidade fraca e pouca; difusa e plana.

Bw3 - 137–180 cm+, bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 2,5/4 úmida); argilosa; moderado, médios e blocos subangulares; poros muito pequenos e poucos; solta, friável, ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica; cerosidade fraca e pouca; difusa e plana.

RAIZES: comuns e muito finas no Horizontes A, AB e BA; poucas e muito finas nos Horizontes Bw1 e Bw2 e ausentes no Bw3.

ANÁLISES QUÍMICAS

Horiz.	Profund.	pH	MO	Ca	Mg	Al	H+Al	K	T	K	P	V	m
	(cm)	em H ₂ O	g/dm ³	cmol _c /dm ³						mg/dm ³		%	
A	0-7	4,7	16	3,2	0,9	0,1	4,7	0,6	9,4	250	21	50,2	2,1
AB	7-17	4,7	18	3,6	1,1	0,1	4,7	0,5	9,8	180	30	52,2	1,9
BA	17-45	5,2	13,2	3,5	1,1	0,1	3,4	0,3	8,2	120	11	58,7	2
Bw1	45-84	5,8	5,5	2,6	0,8	0	2,2	0,1	5,7	30	1,1	61,2	0
Bw2	84-137	6,1	3,1	2,8	0,4	0	2	0	5,2	10	0,6	61,7	0
Bw3	137 – 180+	4,9	2,9	1,2	0	0,4	3,6	0	4,8	0	0,3	25,5	25

ANÁLISES FÍSICAS

Horiz,	Composição Terra Fina (dispersão em NaOH)		
	Areia Fina	Silte	Argila
	(0,2-0,05mm)	(0,05-0,002mm)	(<0,002mm)
	g/kg		
A	474	94	432
AB	454	123	423
BA	444	114	442
Bw1	414	94	492
Bw2	391	89	520
Bw3	409	65	526

Anexo E

DESCRIÇÃO GERAL

Perfil nº 5: QUADRANTE 03

DATA: maio de 2014.

CLASSIFICAÇÃO: Latossolo Vermelho.

LOCALIZAÇÃO: Setor de suinocultura, Instituto Federal Goiano Campus Ceres, Rodovia GO154, Zona rural, Ceres Goiás, próximo ao setor de suinocultura, na área do pivô central, Latitude: 15° 21' 15,71" S Longitude: 49° 36' 26,54" W.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo do Barro Alto.

LITOLOGIA: Rochas básicas e ultrabásicas do complexo barro alto.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Trincheira aberta em terço médio em relevo plano sob cultura do milho.

CRONOLOGIA: Pré-cambriano.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano (<3%).

RELEVO REGIONAL: Suave a forte ondulado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMARIA: Floresta tropical subcaducifólia.

USO ATUAL: Área de cultura anuais: milho irrigado.

CLIMA: Aw (Köppen-Geiger): inverno seco e ameno, verão quente e chuvoso.

DESCRITO E COLETADO POR: Halef Pereira de Oliveira, Luis Henrique Curcino Batista, Lucas Borges Vinhal, Gabriella Castro Cunha, Kalita Lorrany Andrade de Abreu, Dábio Silva dos Reis e Roriz Luciano Machado.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A - 0 - 7 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, seca); bruno-avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido); argilosa; forte, grande, blocos subangulares; muito dura, firme, ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica; cerosidade fraca e pouca; muitos poros, muitos pequenos a pequenos; plana e abrupta.

AB -7 - 21 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmido); argilosa; forte, grande, blocos subangulares; muito dura, firme, ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica; cerosidade fraca a moderada e pouca; muitos poros, muitos pequenos a pequenos; plana e clara.

BA - 21 - 44 cm; vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4 úmido); argilosa; moderada, média, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, pegajosa e ligeiramente plástica; muitos poros, muitos pequenos; cerosidade fraca a moderada e comum; plana e clara.

Bw1 - 44 - 74 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido); argilosa; moderada, pequeno, blocos subangulares; ligeiramente dura e muito friável; ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica; cerosidade fraca e pouca; muitos poros, muito pequenos; plana e clara.

Bw2 - 74 - 95 cm; vermelho-escuro (2,5RY 3/6 úmido); argilosa; fraca, muito pequeno a pequeno, blocos subangulares; macia a ligeiramente dura, muito friável, não pegajosa e não plástica; cerosidade fraca e pouca; muitos poros, muito pequenos; plana e clara.

Bw3 - 95 - 153 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6 úmido); argilosa; fraca, muito pequeno a pequeno, blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não pegajosa e não plástica; cerosidade fraca e pouca; muitos poros, muito pequenos; plana e difusa.

Bw4 - 153 - 180 cm+; vermelho-escuro-acinzentado (7,5R 3/3 úmido); argilosa; fraca, muito pequeno, blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente pegajosa e não plástica; cerosidade fraca e pouca; muitos poros, muito pequenos; plana e difusa.

RAIZES: poucas a comum e muito finas nos Horizontes A, AB e BA; e raras e muito finas no Horiz. Bw1.

ANÁLISES QUÍMICAS

Horiz.	Profund.	pH	MO	Ca	Mg	Al	H+Al	K	T	K	P	V	m
	(cm)	em H ₂ O	g/dm ³	cmol _c /dm ³						mg/dm ³		%	
A	0 – 7	5,3	18,4	2,2	1,1	0,1	4,2	0,4	7,9	170	44	46,8	2,6
AB	7 – 21	5,3	14,2	2	1	0,1	4,5	0,4	7,9	150	54	43	2,9
BA	21 – 44	5,1	9,2	1,8	0,9	0,1	3,4	0,2	6,3	90	7,4	46,4	1,7
Bw1	44 – 74	5,4	6,5	1,7	0,8	0	2,2	0,1	4,7	40	0,7	53,3	0
Bw2	74 – 95	5	5,1	1,4	0,4	0,1	2,5	0	4,3	10	0,6	41,7	5,3
Bw3	95 – 153	4,9	3,3	0,3	0,1	0,3	3,3	0	3,7	10	0,8	11,9	40
Bw4	159 – 180+	4,8	2,6	0	0,1	0,5	3,8	0	3,9	10	0,2	3,2	78

ANÁLISES FÍSICAS

Horiz.	Composição Terra Fina (dispersão em NaOH)			Carbono Orgânico
	Areia Fina	Silte	Argila	
	(0,2-0,05mm)	(0,05-0,002mm)	(<0,002mm)	
	g/kg			%
A	444,5	124,6	430,8	1,04
AB	465,0	110,4	424,6	0,80
BA	395,0	163,5	441,5	0,52
Bw1	381,6	203,0	415,4	0,37
Bw2	359,3	180,8	460,0	0,29
Bw3	354,3	164,1	481,5	0,18
Bw4	358,2	118,5	523,4	0,14

Anexo F

DESCRIBÇÃO GERAL

Perfil nº 6: QUADRANTE 04.

DATA: maio de 2014.

CLASSIFICAÇÃO: Argissolo Vermelho.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO, COORDENADAS: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres, Rod, 154 km 03, Culturas anuais, próximo à suinocultura área do pivô central, Latitude: 15° 21' 14,94" S; Longitude: 49° 36' 20,71" W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Perfil analisado em trincheira, aberta no terço médio de encosta em relevo plano sob cultura anual milho irrigado com pivô central.

LITOLOGIA: Rochas máficas e ultramáficas.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo Barro Alto.

CRONOLOGIA: Pré-cambriano.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto de alteração de rochas básicas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano (<3%).

RELEVO REGIONAL: Suave a forte ondulado.

EROSÃO: Laminar ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subcaducifólia.

USO ATUAL: Cultura anual de milho.

CLIMA: Aw (Köppen-Geiger): inverno seco e ameno, verão quente e chuvoso.

DESCRITO E COLETADO POR: Diego da Silva Pedro, Henrique Gomides Silva, Kálita Castro do Nascimento, Luan Ricardo Dantas Baia, Vanessa Borges Cardoso e Roriz Luciano Machado.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A - 0-8 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/4, seca), bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmida); média; forte, subangular, pequena; extremamente dura, firme, ligeiramente plástica/plástica, ligeiramente pegajosa; cerosidade moderada e comum; poucos poros e muito pequeno; plana e abrupta,

AB - 8-23 cm, bruno-avermelhado- escuro (2,5YR 2,5/4 úmida); média; forte, blocos angulares, pequena; dura, friável, plástica e pegajosa; cerosidade fraca e pouca; poros comuns e muito pequenos; ondulada e clara,

Bt1 - 23-48 cm, vermelho escuro (2,5YR 3/6, úmida); argilosa; forte, blocos angulares, pequena; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; cerosidade fraca/moderada e comum; poros comuns e muito pequenos; ondulada, gradual.

Bt2 - 48-72 cm, bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmida); argilosa; blocos subangulares, muito pequena, moderado; macia, muito friável, ligeiramente plástica; muito pegajosa; cerosidade fraca e comum; poros comuns e muito pequenos; plana, difusa.

Bw1 - 72-117 cm, bruno-avermelhado escuro (2,5YR 2,5/6, úmida); argilosa; fraco, granular e blocos subangulares, muito pequena; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; cerosidade fraca e pouca; poros comuns e muito pequenos; irregular e difusa.

Bw2 - 117-151 cm, bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4, úmida); argilosa; fraco, granular e blocos subangulares, muito pequena; solta, muito friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; cerosidade fraca e pouca; muitos poros e muito pequenos; plana, difusa.

Bw3 - 151-200 cm+, bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4, úmida); argilosa; fraco, granular e blocos subangulares, muito pequena; solta, muito friável, não plástica; não pegajosa; cerosidade fraca e pouca; muitos poros e muito pequenos; plana, difusa.

RAÍZES - Muitas e finas horizonte A; comum e muito finas em AB e Bt1; poucas e muito finas Bt2; raras e muito finas Bw2 e Bw3.

ANÁLISES QUÍMICAS

Horiz,	Profund,	pH	MO	Ca	Mg	Al	H+Al	K	T	K	P	V	m
	(cm)	em H ₂ O	g/dm ³	cmol _c /dm ³						mg/dm ³		%	
A	0 a 8	4,7	20,8	3,6	1	0,1	3,8	0,6	9	240	38	57,7	1,9
AB	8 a 23	5,2	17,1	3,9	1,1	0,1	3,8	0,4	9,1	140	20	58,1	0,9
Bt1	23 a 48	4,7	8,5	2,4	0,7	0,4	2,8	0,1	6	50	4	53,1	9,9
Bt2	48 a 72	5	6,1	2,4	0,7	0,2	2,5	0,1	5,7	30	1,8	56,3	4,5
Bw1	72 a 117	5	4,4	2	0,3	0,1	3,4	0	5,7	10	0,4	40,1	2,2
Bw2	117 a 151	4,7	3,6	1,2	0	0,4	3,4	0	4,6	10	0,4	26,3	22
Bw3	151 a 200+	4,7	2,4	1,2	0	0,4	3,4	0	4,6	10	0,5	26,7	23

ANÁLISES FÍSICAS

Horiz,	Composição Terra Fina (dispersão em NaOH)			Relação Silte/Argila
	Areia Total	Silte	Argila	
	(0,2- 0,05mm)	(0,05- 0,002mm)	(<0,002mm)	
	g/kg			
A	592	92	316	0,291
AB	593	89	319	0,278
Bt1	505	71	424	0,167
Bt2	505	86	409	0,21
Bw1	495	48	457	0,105
Bw2	469	55	476	0,115
Bw3	477	56	466	0,12

Anexo G

DESCRIBÇÃO GERAL

Perfil nº 7: QUADRANTE 04

DATA: outubro de 2015.

CLASSIFICAÇÃO: 1ª Aproximação - Argissolo Vermelho.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, rodovia GO 154, km 3, caixa postal 051, zona rural, Ceres – GO, Pivô central próximo a Suinocultura, 15°21'13,63" S e 49°36'21,13" W.

SITUAÇÃO E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Descrito e coletado em trincheira, sob milho, em terço médio de encosta sob milho irrigado.

LITOLOGIA: Rochas intermediárias a básicas.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Complexo do Barro Alto.

CRONOLOGIA: Pré-cambriano.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Rocha mesocráticas a máfica.

PEDREGOSIDADE: Ausente.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano (<3%).

RELEVO REGIONAL: Suave a forte ondulado.

EROSÃO: Laminar (entresulcos).

DRENAGEM: Acentuado e bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMARIA: Floresta tropical subcaducifólia.

USO ATUAL: Culturas anuais (milho).

CLIMA: Aw (Köppen-Geiger): inverno seco e ameno, verão quente e chuvoso.

DESCRITO E COLETADO POR: Jean Carlo Quirino Ferreira, Laiane Batista Pacheco, Lucas de Deus Leopoldino, Rafael Takashi Esayama, Samuel Gonçalves Ferreira dos Santos e Roriz Luciano Machado.

DESCRIÇÃO MOFOLÓGICA

A – 0 - 4 cm – vermelho (2,5 YR 4/6, seca) – argiloso, fraca e comum; forte, média a grande, blocos subangulares, dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; plana e abrupta; muitos poros e muito pequenos.

AB – 4 - 23 cm – bruno-avermelhado (2,5 YR 4/4, úmido); argilosa; forte, grande a muito grande e blocos subangulares; cerosidade fraca e comum; muito dura, firme, plástica, ligeiramente pegajosa; plana e clara a gradual; poucos poros e muito pequenos.

BA – 23 - 38 cm — vermelho-acinzentado (10 R 4/4, úmida); argilosa; forte, média a muito grande, blocos subangulares; cerosidade fraca e comum; ligeiramente dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; plana e clara; poros comuns e muito pequenos.

Bt – 38 - 62 – vermelho-acinzentado (10 R 4/4, úmida); argilosa; moderado, pequeno a grande, blocos subangulares; cerosidade fraca e comum; ligeiramente dura, friável, plástica, ligeiramente pegajosa; plana e clara a gradual; poros comuns e muito pequenos.

Bw1 – 62 - 97 cm – vermelho-escuro (2,5 YR 3/6 úmida); argilosa; fraco, pequeno e grande granular e blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; macia, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; ondulada e clara; muitos poros e muito pequenos.

Bw2 – 97 - 152 cm –vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, úmida); argilosa; moderado, pequena a grande granular e blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; macia, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; plana e clara a gradual; poros comuns e muito pequenos.

Bw3 – 152 – 190 cm⁺ – vermelho-escuro (2,5 YR 4/6, úmida); argilosa, moderado, pequena a grande granular e blocos angulares a subangulares, fraca e comum, ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa, plana e clara a gradual, poros comuns e muito pequenas.

RAIZES: comum e muito finas no Horiz. A; poucas e muito finas Horiz. AB, raras e muito finas nos Horiz. BA, Bt, Bw1, Bw2 e Bw3.

ANÁLISES FÍSICAS

Horiz,	Composição Terra Fina (dispersão em NaOH)		
	Areia Total	Silte	Argila
	(0,2-0,05mm)	(0,05-0,002mm)	(<0,002mm)
	g/kg		
A	-	-	367
AB	-	-	368
BA	-	-	428
Bt	-	-	482
Bw1	-	-	488

ANÁLISES QUÍMICAS

Não realizadas.

Anexo H

DESCRIBÇÃO GERAL

Perfil nº 8: QUADRANTE 04

DATA: outubro de 2017.

CLASSIFICAÇÃO: 1ª Aproximação - Argissolo Vermelho.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Rodovia GO-154 – km 3, S/N – Zona Rural, Ceres – GO, acima a suinocultura na área de irrigação pelo pivô central - 15,35363559°, -49,60591911°.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito e coletado em trincheira, em início do terço médio com declividade menor que 3%, sob plantio de cultura anuais e experimentos em pastagem.

ELEVAÇÃO: 547 m.

LITOLOGIA: Rochas intermediárias a básicas.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: complexo Barro Alto.

CRONOLOGIA: Pré-cambriana.

MATERIAL ORIGINÁRIO: produto de alteração das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano (<3%).

RELEVO REGIONAL: Suave a forte ondulado.

EROSÃO: Entressucos laminar.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical subcaducifólia.

USO ATUAL: Culturas anuais e experimentos em pastagens.

CLIMA: Aw (Köppen-Geiger): inverno seco e ameno, verão quente e chuvoso.

DESCRITO E COLETADO POR: Diego de Lima Alves, Luis Fernando Alves Teles, Kassy Bolivar, Kévelle Natany Alves Barbosa, Mateus Vítor Silva Rosa, Mayke Suehiro Esayama, Vanderlei José Abreu Vieira e Roriz Luciano Machado.

DESCRIBÇÃO MORFOLÓGICA

A - 0 – 15 cm, vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/2, úmido) e vermelho-escuro (2,5YR 3/6, seco); argiloso; forte, pequenos, blocos subangulares e angulares, médio; ligeiramente dura, friável, plástica, ligeiramente pegajosa; cerosidade fraca e pouco; raízes muitas e muito finas; transição plana e clara.

AB - 15 - 32 cm, vermelho-escuro (2,5YR 3/4 úmido); argiloso; forte, pequenos, blocos subangulares e angulares grandes; dura, firme, muito plástica e ligeiramente pegajosa; cerosidade moderada e comum; transição plana e clara gradual.

Bt - 32 - 58,5cm, vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmido); argilosa; forte, pequenos, blocos subangulares e angulares; ligeiramente dura, friável; ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; cerosidade moderada e comum; plana gradual.

Bw1 - 58,5 - 121cm, vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/3, úmido); argilosa; moderado, muito pequenos e granular; muito friável, macia, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; cerosidade pouca e fraca; ondulada e gradual.

Bw2 - 121 - 178+cm, vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmido); argilosa; moderado, pequenos, granular, médio; muito friável, macia; ondulada e gradual.

RAÍZES – Muitas e muito finas no horizonte A; comuns e muito finas no horizonte AB; poucas e muito finas no horizonte Bt; raras e muito finas nos horizontes Bw1 e Bw2.

ANÁLISES FÍSICAS

Não realizadas.

ANÁLISES QUÍMICAS

Não realizadas.