



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Ilha Solteira

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO SOB
A CULTURA DA SOJA NO CERRADO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

Carlos Matheus Santos da Costa

Ilha Solteira - SP

Janeiro, 2022

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Cursos: Agronomia, Ciências Biológicas, Eng. Civil, Eng. Elétrica, Eng. Mecânica, Física, Matemática e Zootecnia.
Avenida Brasil Centro, 56 CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil
pabx (18) 3743 1000 fax (18) 3742 2735 scom@adm.feis.unesp.br www.feis.unesp.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO SOB
A CULTURA DA SOJA NO CERRADO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

Acadêmico: Carlos Matheus Santos da Costa

Orientador: Rafael Montanari

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Ilha Solteira - SP

Janeiro, 2022

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Costa, Carlos Matheus Santos da.

C837v Variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo sob a cultura da soja no cerrado em sistema de plantio direto / Carlos Matheus Santos da Costa.

-- Ilha Solteira: [s.n.], 2022

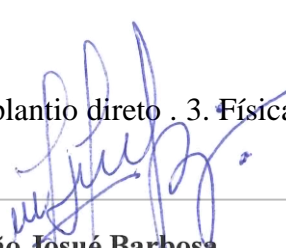
32 f.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022

Orientador: Rafael Montanari

Inclui bibliografia

1. Geoestatística. 2. Sistema de plantio direto. 3. Física do solo. 4. Soja. 5.
Resíduo orgânico. 6. Produtividade.



João Josué Barbosa
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação
Diretor Técnico
CRB 8-5642

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Cursos: Agronomia, Ciências Biológicas, Eng. Civil, Eng. Elétrica, Eng. Mecânica, Física, Matemática e Zootecnia.
Avenida Brasil Centro, 56 CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil
pabx (18) 3743 1000 fax (18) 3742 2735 scom@adm.feis.unesp.br www.feis.unesp.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo sob a cultura da soja no Cerrado em sistema de plantio direto

ALUNO: *Carlos Matheus Santos da Costa*

RA: 172054941

ORIENTADOR: Rafael Montanari

Aprovado (X) - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: 9.8

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Rafael Montanari
Presidente (Orientador)

Dr. Douglas Henrique Bandeira

Me. Hernandez Andrade Queiroz

Carlos Matheus Santos da Costa

Ilha Solteira, 06 de janeiro de 2022.

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais, “**Carlos Manoel da Costa e Isabel Cristina dos Santos**”, que me educaram, me apoiaram durante toda a minha vida, demonstrando todo seu amor, carinho, respeito e confiança em mim e tornaram possível a realização deste sonho de ser Engenheiro Agrônomo.

AMO MUITO VOCÊS, SEM VOCÊS NADA DISSO SERIA POSSÍVEL!

Agradeço

a Deus,

por estar ao meu lado em todos os dias da minha vida

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer em primeiro lugar, a Deus por me acompanhar em todos os dias de minha vida.

Agradeço a minha família! Ao meu pai, Carlos, e a minha mãe, Isabel, por sempre acreditarem na minha capacidade, por abdicarem de muitas coisas durante toda minha vida, em prol dos meus estudos, e da minha carreira, pelo amor, carinho, respeito, e educação fornecidos a mim. Não é possível expor em palavras a imensa gratidão por meus pais, espero um dia recompensá-los por tudo o que fizeram por mim; a minha irmã Karla, que além de uma irmã, foi uma segunda mãe durante a minha vida, sempre me incentivou a ir em busca dos meus sonhos e foi uma inspiração para mim; ao meu cunhado Rafael, que não mediu esforços para me ajudar quando precisei; a minha sobrinha Melissa, que para mim é praticamente uma irmã, e sempre esteve ao meu lado me incentivando na busca pelo meu sonho, meu sobrinho Maximus; ao meu irmão Alex, que desde pequeno cuidou de mim, com muito carinho, respeito e amor; a minha cunhada Leticia, que sempre me incentivou na busca por este sonho; a minha sobrinha Nicole e ao meu sobrinho recém-nascido Davi; A minha irmã Débora que cuidou de mim durante a minha infância; Aos meus sobrinhos Renan, Riane e Ruana; A minha irmã Léia. Meu coração se enche de gratidão por vocês

Aos meus tios Elias e Izilda, que nunca hesitaram em erguer a mão quando precisei, meu muito obrigado.

Aos meus falecidos avós maternos, Carlos e Rosalina, pequenos agricultores, humildes, infelizmente não tive muito tempo com eles, porém são as raízes de meu amor pela agricultura.

Aos meus falecidos avós paternos, Manoel e Estelita, que infelizmente não tive o prazer de conhece-los, porém sem eles não estaria aqui hoje, graças a ousadia e determinação da minha Vó que veio da Bahia para São Paulo em busca de uma vida melhor para seus filhos, tudo se tornou possível.

A minha companheira Ana Beatriz Borges Brito, por todo carinho, amor e companheirismo.

Ao grande amigo Lucas Toni, que me acompanhou desde o 7º ano de ensino fundamental, por todo o incentivo, e apoio.

Aos meus irmãos da República Seukupira, que me acompanharam durante toda minha trajetória na faculdade, pelo apoio, confiança e incentivo, cito em especial os que moraram

comigo durante um dos períodos mais difíceis da minha vida, a pandemia de covid-19: Diego, Nelson, João, Vinícius, Lucas e Bruno.

Aos meus irmãos da turma LIV, pela amizade, confiança e apoio durante toda a minha graduação: Brian, Heitor, Iago, Felipe, Murillo, Felix e Bruno.

Ao meu orientador e professor, Rafael Montanari, pelo empenho com seus orientados e disponibilidade em me orientar, e pelos conhecimentos a mim repassados.

Aos meus tutores e amigos, Hernandes Andrade Queiroz e Douglas Henrique Bandeira, que não mediram esforços durante toda a minha pesquisa para me ajudar no que fosse preciso.

Aos meus amigos do grupo Geoisa, Miro, Maysa, Raul, Bruno e Jônatas, pelo o apoio durante toda a minha pesquisa, pela amizade e companheirismo.

A Empresa Junior Ramo da Terra, por todo o aprendizado, e apoio durante minha graduação.

E por fim, sou imensamente grato aos professores e funcionários da Universidade Estadual Paulista, Júlio de Mesquita Filho, por me proporcionar uma das mais lindas experiências de vida que já tive, juntamente com o crescimento pessoal, profissional, e a realização de um sonho.

RESUMO

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO SOB A CULTURA DA SOJA NO CERRADO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO.

O Brasil, na safra 2020/2021 assumiu o posto de maior produtor de soja do mundo. O mal manejo da agricultura pode impactar negativamente na qualidade do solo. O sistema de plantio direto (SPD), é uma alternativa de manejo conservacionista do solo. O uso de técnicas geoestatísticas, permite que se elabore semivariogramas, que quantificam a dependência espacial em relação a atributos do solo, permitindo que se obtenha estimativas mais exatas das propriedades do solo, em locais que não foram amostrados. O objetivo deste trabalho foi analisar de forma linear e espacial os atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO distrófico no cerrado sob cultivo da cultura da soja em sistema de plantio direto sequeiro. O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da UNESP (FEPE) em Selvíria, MS. O tratamento consistiu em uma área de cultivo da cultura da soja sob sistema de plantio direto, no ano agrícola de 2019/20. Formou-se um plano cartesiano com 60 pontos e, em cada um dos pontos foram avaliados: Resistência à Penetração com o penetrômetro de impacto (RP); Resistência a Penetração de Bancada (RPb) Umidade Gravimétrica (UG); Densidade da Partícula (DP) e Porosidade Total Calculada (PTc) em duas profundidades (0,00-0,20 m e 0,20-0,40 m). Para cada atributo foi realizado a análise descritiva auxiliada pela estatística clássica e a análise da distribuição de frequência por meio do teste de Shapiro e Wilk com 1% probabilidade de erro. Foram ajustados semivariogramas, pelo uso do GS+. Foram elaborados mapas de variabilidade espacial dos atributos da área estudada. De acordo com os valores médios de RP e PT foi possível observar indícios de compactação em ambas as camadas do solo, com maior grau na camada superficial de 0,00-0,20 m. Com exceção dos atributos (UG2 e DP2), todos os demais atributos indicaram efeito pepita puro.

Palavras-chave: Porosidade do solo, manejo e conservação do solo e geoestatística.

ABSTRACT

SPATIAL VARIABILITY OF PHYSICAL ATTRIBUTES OF AN OXISOL UNDER SOYBEAN CULTURE IN THE CERRADO IN A DIRECT PLANTING SYSTEM

Brazil, in the 2020/2021 harvest, assumed the post of largest soybean producer in the world. Poor agricultural management can negatively impact soil quality. The no-tillage system (SPD) is an alternative for soil conservation management. The use of geostatistical techniques allows the elaboration of semivariograms, which quantify the spatial dependence in relation to soil attributes, allowing to obtain more accurate estimates of soil properties, in places that were not sampled. The objective of this work was to analyze, in a linear and spatial way, the physical attributes of an Oxisol in the Savanah under cultivation of the soybean crop in a rainfed no-tillage system. The experiment was conducted at the Farm of Teaching, Research and Extension at UNESP (FEPE) in Selvíria, MS. The treatment consisted of a soybean cultivation area under no-tillage system, in the 2019/20 agricultural year. A Cartesian plane with 60 points was formed and, at each point, the following were evaluated: Penetration resistance with an impact penetrometer (RP); Bench Penetration Resistance (RPb) Gravimetric Humidity (UG); Particle Density (DP) and Calculated Total Porosity (PTc) at two depths (0.00-0.20 m and 0.20-0.40 m). Descriptive analysis aided by classical statistics and frequency distribution analysis using the Shapiro and Wilk test with 1% error probability were performed for each attribute. Crossed semivariograms between the following combinations of attributes were fitted using GS+: soil x soil. Spatial variability maps of the attributes of the studied area were elaborated. According to the mean values of RP and PT, it was possible to observe signs of compaction in both soil layers, with a greater degree in the 0.00-0.20 m surface layer. With the exception of the attributes (UG2 and DP2), all others indicated a pure nugget effect.

Key-words: Soil porosity, soil management and conservation and geostatistics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localidade da implantação da malha de amostragem.....	15
Figura 2: Pontos amostrais.....	17
Figura 3: (a) Semivariograma simples da UG2 (b) semivariograma simples da DP2.....	27
Figura 4: (a) Mapa de krigagem da (UG2) (b) mapa de krigagem DP2.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização física do solo antes da implantação do experimento. Valores médios de macroporosidade (MA), microporosidade (MI), porosidade total (PT) e densidade do solo (DS) nas camadas de 0-0,10m e 0,10- 0,20m, no ano 2016. Selvíria/MS.....	16
Tabela 2: Análise física do solo na camada de 0,30 a 0,40 m e 0,40 a 0,50 m, antes da instalação do experimento e da calagem superficial. Selvíria/MS, 2020.....	16
Tabela 3: Análise descritiva dos atributos físicos de um LATOSSOLO na profundidade de 0,00 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 sob plantio direto no sequeiro.....	20
Tabela 4: Matriz de correlação dos atributos físicos de um LATOSSOLO na profundidade de 0,00 - 0,20 m sob plantio direto no sequeiro.....	23
Tabela 5: Matriz de correlação dos atributos físicos de um LATOSSOLO na profundidade de 0,20 - 0,40 m sob plantio direto no sequeiro.....	24
Tabela 6: Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos físicos de um LATOSSOLO Vermelho Distroférico sob plantio direto.....	25

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. METODOLOGIA.....	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
3.1 Análise descritiva dos dados	19
3.1.1 Variabilidade dos atributos estudados	19
3.1.2 Distribuição de Frequência dos atributos de solo	20
3.1.3. Valores médios dos atributos estudados.....	21
3.2 Análise de correlação entre os atributos do solo	22
3.2.1. Matriz de correlação dos atributos físicos na camada de 0,00-0,20 m	22
3.2.2. Matriz de correlação dos atributos físicos na camada de 0,20-0,40 m	24
3.3. Parâmetros dos semivariogramas simples para os atributos físicos do solo	25
4. CONCLUSÕES	28
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, na safra 2020/2021 assumiu o posto de maior produtor de soja do mundo, com uma produção estimada em 125 milhões de toneladas e um ganho de 4,3 % em relação à safra 2018/2019 (CONAB, 2021).

Na última década, a cadeia produtiva da soja tem sido uma das atividades que apresentaram crescimentos mais expressivos devido a diversos fatores, dentre estes: A consolidação desta oleaginosa como uma importante fonte de proteína vegetal, principalmente na nutrição animal, a estruturação e o desenvolvimento de um mercado sólido internacional relacionado com o comércio de produtos do complexo agroindustrial da soja e o avanço da geração e oferta de tecnologias, tornando viável a expansão da produção de soja por diversas regiões do mundo (HIRAKURI et al., 2014).

Atualmente a soja é a principal cultura da agricultura brasileira, a força da cadeia produtiva da soja permite ao Brasil ter pretensões geopolíticas e geoeconômicas e a capacidade de influenciar o mercado mundial de commodities agrícolas (HIRAKURI et al., 2014).

O mal manejo da agricultura pode impactar negativamente na qualidade do solo. Técnicas de preparo do solo na forma convencional, podem contribuir para a degradação do solo. Diante disto, é de extrema importância o estudo de técnicas conservacionistas de manejo do solo, em busca de alternativas sustentáveis de uso do solo para a produção agropecuária (STEFANOSKI et al., 2013).

É importante salientar que as condições químicas, físicas e biológicas do solo possuem extrema importância para a obtenção de uma produção agrícola satisfatória, assim o manejo do solo se torna um fator limitante à produção vegetal (ADAMS, 2016).

O tráfico de máquinas e implementos agrícolas no sistema convencional de cultivo pode ocasionar, em longo prazo, a compactação do solo nas camadas mais profundas, principalmente quando as operações são realizadas com o solo úmido, gerando o chamado “pé-de-grade” ou “pé-de-arado”, dificultando o desenvolvimento radicular das culturas, diminuindo a infiltração da água no solo, reduzindo a capacidade de retenção de água no solo, e provocando o escoamento superficial (SALOMÃO et al., 2020). Portanto, o revolvimento do solo proporcionado pelo sistema de produção convencional proporciona ao solo um estado de vulnerabilidade, deixando-o exposto às ações externas, como a ação da radiação solar, da chuva, e do vento, impedindo sua proteção de intempéries climáticas (KOCHANN & DENARDIN, 2000).

O sistema de plantio direto (SPD), é uma alternativa de manejo conservacionista do solo. Através do não revolvimento do solo, da rotação de culturas e da conservação da palhada, este sistema promove a estabilização de agregados do solo, devido à ação da matéria orgânica proveniente da palhada da cultura anterior utilizada no sistema. A palhada do SPD protege o solo das gotas de chuva, da radiação solar, e da ação dos ventos, podendo assim reduzir em até cinco vezes mais a perda de sedimentos, quando comparado com sistema de plantio convencional, além de proporcionar nutrientes através da mineralização da matéria orgânica proveniente desta (SALOMÃO et al., 2020).

O estudo da variabilidade espacial do solo permite um conhecimento mais aprofundado. Enquanto que na estatística clássica as amostras são coletadas ao acaso, na geoestatística os pontos de coleta possuem local definido, somente através desse método é possível não só calcular a média e a variância dos fatores, mas também a dependência espacial entre as medidas, evidenciando aspectos que não são disponíveis por outros métodos. Com isso o uso de técnicas geoestatísticas, permite que se elabore semivariogramas, que quantificam a dependência espacial em relação a atributos do solo, permitindo que se obtenha estimativas mais exatas das propriedades do solo, em locais que não foram amostrados (TAVANTI, et. al., 2020).

Desta forma, torna-se importante compreender os processos que envolvem o manejo do solo sob sistema de plantio direto e seu efeito temporal no solo. O monitoramento dos atributos físicos do solo, através da geoestatística, auxilia o produtor a ter uma melhor tomada de decisão sobre o manejo do solo, e assim também o auxilia a alcançar a máxima produtividade das culturas, de forma racional e sustentável, o que justifica o presente estudo.

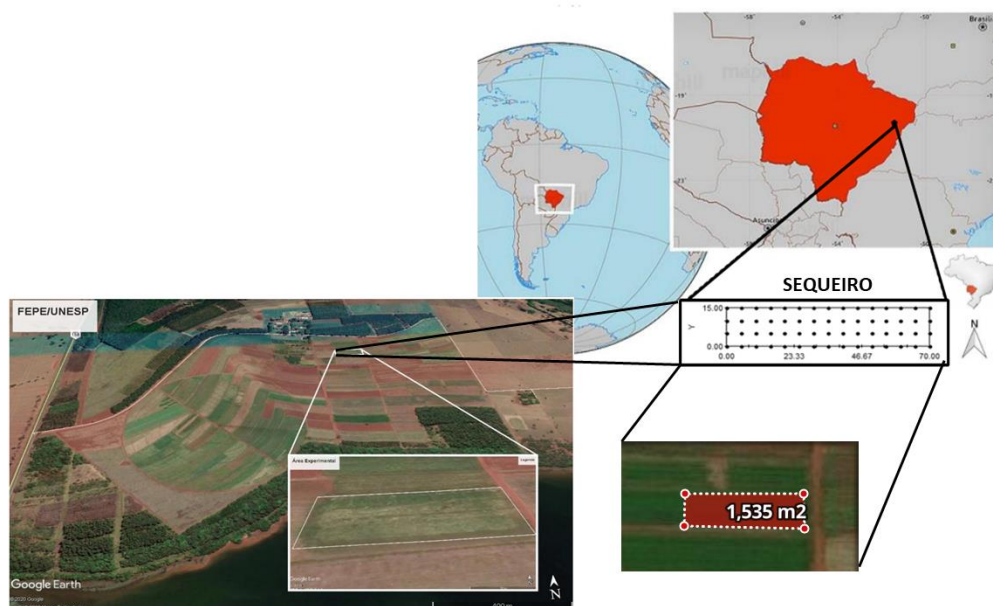
O objetivo deste trabalho foi analisar de forma linear e espacial os atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO distrófico no cerrado sob cultivo da cultura da soja em sistema de plantio direto sequeiro.

2. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2019/2020, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, campus de Ilha Solteira, situada aproximadamente a 51° 22' de longitude Oeste de Greenwich e 20° 22' de Latitude Sul, com altitude de 335 m. O solo foi classificado como LATOSSOLO Vermelho distrófico, textura argilosa (DEMATTE, 1980; SANTOS et al., 2018). A classificação climática da região de acordo com Köppen é Aw, definida como tropical úmido com estação chuvosa no

verão e seca no inverno. A temperatura média anual é de 23,5° C, a precipitação pluvial média anual é de 1.370 mm e a umidade relativa do ar média anual entre 70 e 80 %.

Figura 1. Localidade da implantação da malha de amostragem.



Fonte: Próprio autor.

Histórico da área – A área tem sido cultivada com culturas anuais sob plantio direto há mais de 10 anos, com leguminosa produtora de grãos no verão e gramíneas e de grãos e forragem no momento da estação de outono, obedecendo a sequência soja-milho-pastagem e, soja-sorgo-pastagem. Foi executado a aplicação de calcário dolomítico (PRNT 85%) em superfície, sem inserção, na dose de 2,0 t ha⁻¹ em setembro de 2015. O preparo da área agrícola antes da semeadura das culturas no outono foi realizado com dessecação da flora daninha com herbicida Glyphosate (1.560 g ha⁻¹ do i.a.), e após usou a ceifa utilizando triturador horizontal de rejeitos vegetais (Triton) (NAKAO 2021).

Na área experimental foi instalado a malha geoestatística. A preparação inicial do solo na área implementou-se pelo levantamento aleatório de 60 pontos de amostragem para a porosidade total (PT), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e densidade do solo (DS), nas profundidades de 0,00 a 0,10m e 0,10 a 0,20m. Os valores médios dos atributos físicos do solo são exibidos na (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização física do solo antes da implantação do experimento. Valores médios de macroporosidade (MA), microporosidade (MI), porosidade total (PT) e densidade do solo (DS) nas camadas de 0-0,10m e 0,10- 0,20m, no ano 2016. Selvíria/MS.

Profundidade (m)	MA	MI	PT	DS
	m ³ m ⁻³			Kg dm ⁻³
0,00 – 0,10	0,095	0,331	0,419	1,42
0,10 – 0,20	0,059	0,353	0,386	1,54

Fonte: Nakao, 2021.

Inicialmente entre os meses de outubro e novembro de 2019, visando à caracterização do solo antes da instalação do experimento, foram feitas análises físicas do solo em duas profundidades (0,30 a 0,40m e 0,40 a 0,50m) avaliando a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 2017). Os locais de coleta das amostras foram determinados de forma aleatória na área onde será instalada a cultura, da soja.

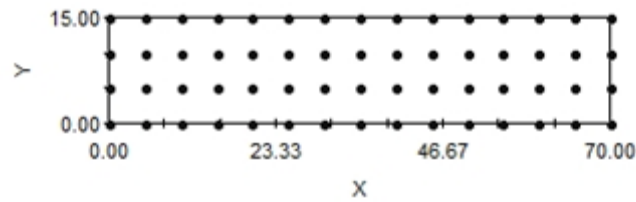
Os resultados da análise de caracterização física do solo nas camadas de 0,30-0,40 m e 0,40-0,50 m encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Análise física do solo na camada de 0,30 a 0,40 m e 0,40 a 0,50 m, antes da instalação do experimento e da calagem superficial. Selvíria/MS, 2020.

Profundidades	Análise de física do solo						
	Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	Microporosidade (m ³ m ⁻³)	Densidade do solo (Kg/dm ³ ou g/cm ⁻³)	Porosidade do solo (m ³ m ⁻³)	Argila (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Areia (g kg ⁻¹)
0,30 a 0,40m	0,12	0,19	1,44	0,30	541	393	66
0,40 a 0,50m	0,15	0,20	1,33	0,36	537	388	75

Fonte: Próprio autor

O tratamento consistiu em uma área de cultivo da soja (*Glycine max*), sob sistema de plantio direto sequeiro (10 anos SPD), no ano agrícola de 2019/20 onde foi instalado uma malha de coleta de dados de campo. Foram definidas as direções x e y do sistema de coordenadas cartesianas, num lançante estabelecido na área agrícola. Empregando-se o nível ótico comum, efetuando-se o estaqueamento global da malha experimental após a semeadura da soja, isto é, no primeiro decêndio de novembro/2020. A malha experimental foi constituída de 15 m x 70m. Portanto, as transeções (4 X 15), com pontos amostrais esquadrejados em 5,00 m x 5,00 m, contendo 60 pontos amostrais numa área com 1.050 m² (Figura 2).

Figura 2. Pontos amostrais

Fonte: Próprio autor.

Para avaliação do sistema, foi realizado amostragens de solo deformadas e indeformadas buscando avaliar os atributos físicos do solo (resistência à penetração de raízes com o penetrômetro de impacto, resistência à penetração de raízes com o penetrômetro estático de bancada, umidade gravimétrica, densidade da partícula e porosidade total calculada ((RP Mpa), (RPb MPa), (UG kg kg⁻¹), (DP kg dm⁻³) e (PTc m³ m⁻³), respectivamente). Foram amostrados nos pontos de cruzamento da malha (georreferenciados), com intervalos regulares de 5 x 5 m, em um total de 60 pontos na área.

A amostragem de solo deformada foi realizada nos pontos de encontro da malha, nas camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m de profundidade. Com as mesmas, foi realizado a determinação da UG, na qual as amostras de solo foram pesadas e depois transferidas para a secagem em estufa a 105°C, por 25 horas. A determinação da UG foi realizada pela equação:

$$UG = (PU - PS) / PS \quad (1)$$

onde: UG é umidade gravimétrica (kg kg⁻¹); PU é o peso de solo úmido (g); e PS é o peso de solo seco em estufa (g). As análises citadas anteriormente serão feitas de acordo com a metodologia da (EMBRAPA, 2017).

A DP foi calculada pelo método do álcool (balão volumétrico), onde se determinou o volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico de 50 ml, contendo solo seco em estufa e depois utilizado a equação apresentada pela EMBRAPA (2017).

$$DP = MSS / (50 - V) \quad (2)$$

onde, DP = densidade de partículas (kg dm⁻³); MSS = massa de solo seco a 105 °C (kg); V = volume de álcool gasto (m⁻³)).

A amostragem de solo indeformada, também foi realizada nos pontos de encontro da malha, nas camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, através da coleta de cilindros metálicos. Abriu-se trincheiras com o auxílio de um enxadão, para possibilitar a retirada das amostras. A

dimensão de cada cilindro foi medida por meio de um paquímetro digital. Nas amostras foram fixadas telas de náilon na parte inferior dos cilindros com elástico, com objetivo de preservar a estrutura da amostra (EMBRAPA, 2017).

As amostras foram levadas ao penetrômetro eletrônico estático de bancada, de velocidade constante de penetração de 10 mm min⁻¹ e cone com ângulo de 30°, para determinação da RPb conforme descrito por (TORMENA et al., 1998).

A resistência à penetração (RP) foi avaliada com o penetrômetro de impactos (STOLF, 1991) e calculada segundo expressão:

$$RP = \{ \{ 5,581 + 6,891 * \{ [N/P-A] * 10 \} \} * 0,0981 \} \quad (3)$$

onde, RP = resistência mecânica à penetração (MPa); N = número de impactos efetuados com o martelo do penetrômetro para obtenção da leitura; A e P = leituras antes e depois da realização dos impactos (cm). (STOLF et al., 2014).

A P_{Tc} será obtida, pela equação que descreve a diferença entre a densidade do solo e de partícula (EMBRAPA, 2017).

Para cada atributo estudado foi efetuada a análise descritiva auxiliada pela estatística clássica. Utilizando-se o SAS (SCHLOTZHAVER; LITTEL, 1997) calculou-se a média, mediana, moda, valores mínimo e máximo, desvio padrão, coeficiente de variação, curtose e assimetria. Seguidamente foram identificados os pontos anômalos (outliers), conforme identificação no gráfico de ramos e folhas, efetuando-se a substituição deles pelo valor médio dos circunvizinhos presentes na malha geostatística. Também foi efetuada a análise da distribuição de frequência dos dados. Desta forma, para testar a hipótese de normalidade, foi utilizado o teste de Shapiro e Wilk (1965) a 1%.

A modelagem geoespacial foi realizada utilizando o programa GS+ 7.0. A técnica de krigagem foi utilizada para estimar valores nos locais não amostrados por ser um estimador linear não enviesado. Uma vez determinados, foram construídos mapas de isolinhas utilizando-se o programa GS+, que emprega os mesmos valores estimados por meio da técnica de krigagem para determinação e localização das isolinhas; desta maneira, os mapas representam linhas bem definidas e embasadas em um algoritmo de regressão linear, conforme descrito por TAVANTI et al. (2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise descritiva dos dados

3.1.1 Variabilidade dos atributos estudados

De acordo com PIMENTEL GOMES & GARCIA (2002), a variabilidade de um atributo pode ser classificada segundo a magnitude de seu coeficiente de variação (CV). Suas classes foram determinadas como baixa ($CV \leq 10\%$), média ($10\% < CV \leq 20\%$), alta ($20\% < CV \leq 30\%$) e muito alta ($CV > 30\%$). A densidade da partícula (DP) apresentou-se com baixa variabilidade (2,71% e 3,66%) nas profundidades 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m respectivamente (Tabela 3). O mesmo foi constatado por OLIVEIRA et al. (2015) que estudaram a variabilidade dos atributos de um ARGISSOLO Vermelho alítico plintico sob diferentes tipos de manejo (Terra preta arqueológica; Floresta e Pastagem) e obteve os valores de CV (DP) respectivamente de: (3,00%; 2,63% e 5,51%) e por SIMÕES et al. (2006) que estudaram a variabilidade espacial de atributos físicos de um LATOSSOLO Vermelho distrófico e obteve valores de CV (DP) entre (2,131% e 2,561%).

Para porosidade total calculada (PTc) (14,32% e 16,59%) e resistência a penetração na profundidade de 0,20-0,40 m (RP2) (18,64%), foram encontrados média variabilidade (Tabela 3) concordando com os resultados de LIMA et al. (2010) que obteve média variabilidade para RP nas camadas de 0,00-0,10 m, 0,20-0,30 m, 0,30-0,40 m e 0,40-0,50 m com valores de CV (14,3%; 15,8%; 18,9% e 11,6%) respectivamente em Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso. Já os valores de PTc concordam com os obtidos por MONTANARI et al. (2015) na profundidade de 0,00-0,10 m CV (11,3%) em Planossolo Hidromórfico de textura média. Já a resistência a penetração na profundidade de 0,00-0,20 m (RP1) (26,45%) apresentou alta variabilidade (Tabela 3) sendo semelhante aos resultados observados por MARTINS et al. (2021) que observou o valor de CV (RP) (30,87%) representando muito alta variabilidade para RP em Latossolo Vermelho distrófico.

A umidade gravimétrica (UG) apresentou os valores de CV (104,00% e 40,00%) que representou muito alta variabilidade em ambas profundidades diferente do observado por MARTINS et al. (2021) em Latossolo Vermelho distrófico sob cultivo da cultura do eucalipto, que obteve os valores de CV na camada de 0,00-0,10 m (UG) (11,13%) representado média variabilidade. A grande variabilidade da UG na área estudada pode ser explicada pela distribuição irregular da palhada na área, proporcionando maiores valores de UG em áreas com maiores quantidades de palhada depositada.

Já a resistência a penetração de bancada (RPb) (52,23% e 54,11%) apresentou também muito alta variabilidade sendo semelhante ao observado por MARTINS et al. (2021) que obteve o valor de CV na camada de 0,00-010 m (RP) (30,87 %) em Latossolo Vermelho distrófico sob cultivo do eucalipto representando muito alta variabilidade para RP (Tabela 3).

Tabela 3. Análise descritiva dos atributos físicos de um LATOSSOLO na profundidade de 0,00 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 sob plantio direto no sequeiro

Atributo ^(a)	Medidas estatísticas descritivas								Probabilidade do teste ^(b)	
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Pr<w	DF
			Mínimo	Máximo		Varição (%)	Curtose	Assimetria		
<i>Atributos físicos do solo</i>										
RP1 (MPa)	4,991	4,752	2,870	8,460	1,320	26,45	0,078	0,740	0,0161	IN
RP2 (MPa)	4,110	3,928	2,933	8,164	0,766	18,64	12,700	2,818	0,0001	IN
UG1 (kg kg⁻¹)	0,250	0,162	0,110	1,320	0,260	104,00	7,590	2,880	0,0001	IN
UG2 (kg kg⁻¹)	0,180	0,181	0,110	0,710	0,072	40,00	51,460	6,884	0,0001	IN
DP1 (kg dm⁻³)	2,470	2,226	2,240	2,660	0,067	2,71	1,570	-0,073	0,0120	IN
DP2 (kg dm⁻³)	2,540	2,564	2,060	2,740	0,093	3,66	12,340	-2,787	0,0001	IN
RPb1 (MPa)	1,388	1,165	0,396	3,121	0,725	52,23	0,257	0,786	0,0007	IN
RPb2 (MPa)	1,033	0,911	0,090	2,603	0,559	54,11	0,053	0,784	0,0046	IN
PTc1 (m³ m⁻³)	0,412	0,422	0,260	0,547	0,059	14,32	-0,068	-0,129	0,6508	NO
PTc2 (m³ m⁻³)	0,458	0,468	0,200	0,626	0,076	16,59	1,430	-0,606	0,1933	NO

^(a) RP, UG, DP, RPb, PTc, são respectivamente, resistência a penetração, umidade gravimétrica, densidade da partícula, resistência penetração análise de bancada, porosidade total calculada, coletados nas camadas do solo de (1) 0,00-0,20 m e (2) 0,20-0,40 m; ^(b) DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente, do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

3.1.2 Distribuição de Frequência dos atributos de solo

Quando uma variável estatística qualquer possuir distribuição de frequência do tipo normal, a medida de tendência central mais adequada para representá-la deve ser a média, em contrapartida, será representada pela mediana, ou pela média (DALCHIAVON et al., 2017). Para apontar a importância da assimetria e da curtose na presente pesquisa COOPER e SCHINDLER, 2011; HAIR JR. et al., 2005; MALHOTRA, 2006; MAROCO, 2003 afirmam que a assimetria mensura o enviesamento da distribuição relativamente à média, e a curtose é uma medida do pico (ou do achatamento) de uma distribuição. Ainda, o coeficiente de assimetria é mais sensível a valores extremos que a média e desvio padrão, já que um único valor pode influenciar bastante este coeficiente (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989).

Conforme apresentado na Tabela 3, os atributos RP1, RP2, UG1, UG2, DP1, DP2, RPb1 e RPb2 apresentaram distribuição de frequência do tipo indeterminada. Já PTc1 e PTc2

apresentaram distribuição de frequência do tipo normal, com coeficientes de assimetria negativos $PTc1$ e $PTc2$ (-0,129 e -0,606). Já o coeficiente de curtose, foi negativo em $PTc1$ (-0,068) e positivo em $PTc2$ (1,430) (Tabela 3). Contudo, esses atributos não foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de normalidade de SHAPIRO e WILK (1965), onde suas probabilidades foram respectivamente ($PTc1$ e $PTc2$) (0,6508 e 0,1933), representando distribuição de frequência do tipo normal (Tabela 3).

3.1.3. Valores médios dos atributos estudados

Os valores médios de RP em profundidade indicaram haver maior intensidade de compactação na profundidade de 0,00-0,20 cm onde ocorreu o maior valor ($RP1 = 4,99$ MPa) em ambas profundidades ($RP1$ e $RP2$) os valores (4,99 MPa e 4,110 MPa) estão acima do valor crítico de 2,0 MPa (BENGHOUGH e MULLINS, 1990) indicados para o equipamento de impacto e considerados altos de acordo com a classificação estabelecida por ARSHAD et al. (1996) (Tabela 3), estes valores foram mais altos do que os observados por MARTINS et al. (2021) na camada 0,00-0,10 m sob cultivo convencional da cultura do eucalipto RP (3,33 MPa) e MONTANARI et al. (2013) nas camadas de 0,00-0,10 m 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 sob cultivo mínimo do feijão irrigado RP (1,096 MPa; 2,115 MPa e 2,743 MPa) respectivamente, ambos os trabalhos em Latossolo Vermelho, explica-se os altos valores de RP pelo tráfico de máquinas e implementos agrícolas, e pelo tempo de implantação do plantio direto (10 anos) (Tabela 3). Já os valores médios da resistência a penetração de bancada (RPb) se encontram dentro do limite crítico em ambas as profundidades ($RPb1$ e $RPb2$) (1,388 MPa e 1,033 MPa) o maior valor também ocorreu na camada de 0,00-0,20 m, os valores são considerados moderados de acordo com a classificação estabelecida por ARSHAD et al. (1996) (Tabela 3), os valores menores de RPb em comparação com RP se explicam por a RPb ser avaliada com o solo úmido na capacidade de campo (Tabela 3).

Já os valores médios de UG foram adequados ($UG1$ e $UG2$) (0,250 $kg\ kg^{-1}$ e 0,180 $kg\ kg^{-1}$) foram semelhantes aos obtidos por MONTANARI et al. (2013) nas camadas de 0,00-0,10 m 0,10-0,20m e 0,20-0,30 m (0,207 $kg\ kg^{-1}$, 0,220 $kg\ kg^{-1}$ e 0,231 $kg\ kg^{-1}$) respectivamente, em sistema de cultivo mínimo irrigado do feijão. Já LIMA et al. (2010) obteve menores valores de UG em Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso sob cultivo convencional da cultura do eucalipto nas camadas de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-030 m, 0,30-0,40 m, e 0,40-0,50 m (0,121 $kg\ kg^{-1}$, 0,124 $kg\ kg^{-1}$, 0,134 $kg\ kg^{-1}$, 0,141 $kg\ kg^{-1}$ e 0,146 $kg\ kg^{-1}$) respectivamente.

Porém diferente de (MONTANARI et al., 2013 e LIMA et al., 2010) que apresentaram aumento da UG em profundidade, foi observado uma maior umidade na camada de 0,00-0,20 m, esta pode ser explicada, pela área estudada não ser irrigada e pela presença de palhada na superfície do solo proporcionando uma maior umidade para a camada superficial do solo (Tabela 3).

Os valores médios de DP no estudo foram de (DP1 e DP2) ($2,470 \text{ kg dm}^{-3}$ e $2,540 \text{ kg dm}^{-3}$) concordando com os obtidos por MONTANARI et al. (2013) em Latossolo Vermelho distroférico típico em sistema de cultivo mínimo irrigado da cultura do feijão nas camadas de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m DP ($2,235 \text{ kg dm}^{-3}$, $2,190 \text{ kg dm}^{-3}$ e $2,205 \text{ kg dm}^{-3}$) respectivamente. E também por MARTINS et al. (2021) em Latossolo Vermelho distrófico com textura argilosa sob cultivo do eucalipto na camada de 0,00-0,10 m DP ($2,48 \text{ kg dm}^{-3}$). Em ambas profundidades os valores se encontram dentro do valor médio ideal para DP (Tabela 3).

Já os valores médios de P_{Tc} foram de (P_{Tc1} e P_{Tc2}) ($0,412 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,458 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) em ambas profundidades os valores estão abaixo do ideal de $0,500 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ sendo o maior valor na profundidade de 0,20-0,40 m indicando uma maior compactação na camada de 0,00-0,20 m, isto contraria os resultados obtidos por MONTANARI et al. (2015) estudando a variabilidade espacial dos atributos de um Planossolo Hidromórfico em sistema de cultivo convencional da cultura do sorgo onde observou-se nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m PT ($0,459 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,448 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). E também os resultados obtidos por MONTANARI et al. (2013) estudando a variabilidade espacial dos atributos de um Latossolo Vermelho distroférico típico sob cultivo mínimo irrigado do feijão onde observou-se nas camadas de 0,00-0,10 m 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m PT ($0,434 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, $0,400 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,382 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), onde em profundidade os valores são menores de PT (Tabela 3). Solos com histórico em SPD normalmente apresentam a PT mais baixas do que solos em sistema de cultivo com operações de preparo do solo, pelo fato de serem excluídas as operações de preparo mecânico do solo, e da compactação superficial do solo pelo tráfego agrícola acumulado ao longo dos anos (Tabela 3).

3.2 Análise de correlação entre os atributos do solo

3.2.1. Matriz de correlação de Pearson dos atributos físicos na camada de 0,00-0,20 m

A partir da matriz de correlação de Pearson (Tabela 4) é possível interpretar os atributos na camada 0,00 – 0,20 m de acordo com suas correlações positivas (diretamente proporcional) e negativas (inversamente proporcional), bem como as correlações significativas a 1% (**) e significativas a 5 % (*).

A correlação RPb1 x DP1 ($r^2 = -0,322^*$), inversamente proporcional indica que quanto maior a DP1 menor será a RPb1 diferente do observado por MARTINS et al. (2021) estudando a variabilidade dos atributos de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob cultivo convencional do eucalipto em uma malha de 35 pontos onde a correlação entre DP e RP é positiva e não significativa DP x RP ($r^2 = 0,105$), esta correlação pode ser explicada pelos locais onde apresentaram maior índice de compactação na camada superficial e como consequência maior RP possuem um material de origem menos densos explicando o fato de menores valores de DP (Tabela 4).

Tabela 4. Matriz de correlação dos atributos físicos de um LATOSSOLO na profundidade de 0,00 - 0,20 m sob plantio direto no sequeiro.

Atributos	Coeficiente de correlação				
	RP1	UG1	DP1	RPb1	PTc1
UG1	-0,092	-	-	-	-
DP1	0,039	-0,033	-	-	-
RPb1	0,181	-0,027	-0,322*	-	-
PTc1	-0,101	0,089	0,542**	-0,784**	-

RP, UG, DP, RPb, PTc, são respectivamente, resistência a penetração, umidade gravimétrica, densidade da partícula, resistência penetração análise de bancada, porosidade total calculada; ^(b) * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

Já a correlação PTc1 x DP1 ($r^2 = 0,542^{**}$), diretamente proporcional indica que quando maior a PTc1 maior será a DP1, ou seja os locais onde se encontraram maiores valores de PT e assim demonstrando uma menor compactação do solo, observou-se os maiores valores de DP, resultados semelhantes foram obtidos por MONTANARI et al. (2013) que estudou a correlação entre a produção de feijão sob cultivo mínimo irrigado e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico típico observou-se na camada de 0,00-0,10 m a correlação positiva entre PT x DP ($r^2 = 0,227^*$) (Tabela 4).

A correlação entre a PTc1 x RPb1 ($r^2 = -0,784^{**}$), inversamente proporcional indica que quanto maior a PTc1 menor será a RPb1, resultados parecidos foram obtidos por MONTANARI et al. (2013) estudando a correlação entre a produção de feijão sob cultivo mínimo irrigado e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico típico que observou correlação negativa entre a PT e RP na camada de 0,00-0,10 m mas esta não foi significativa ($r^2 = -0,116$), porém em profundidade apresentou correlação positiva entre a PT x DP na camada de 0,10-0,20 m ($r^2 = 0,008$) não significativa, e também na camada 0,20-0,30 PT x DP ($r^2 = 0,0049$) positiva e não

significativa, pode ser explicado pelos locais com menores PT imporem maiores dificuldades para a penetração das raízes das plantas, explicando a correlação negativa entre os dois atributos (Tabela 4).

3.2.2. Matriz de correlação de Pearson dos atributos físicos na camada de 0,20-0,40 m

A partir da matriz de correlação Pearson (Tabela 5) é possível interpretar os atributos na camada 0,20 – 0,40 m de acordo com suas correlações positivas (diretamente proporcional) e negativas (inversamente proporcional), bem como as correlações significativas a 1% (**) e significativas a 5% (*).

A correlação entre a PTc2 x DP2 ($r^2 = 0,405^{**}$) diretamente proporcional indica que quando maior a PTc2 maior será a DP2 o mesmo foi observado na camada de 0,00 – 0,20 m, resultados semelhantes foram obtidos por MONTANARI et al. (2013) estudando a variabilidade dos atributos produtivos do feijão sob cultivo mínimo irrigado correlacionando-os com os atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico típico, que obtiveram na camada de 0,10-0,20 m correlação positiva e significativa a 1% entre a PT x DP ($r^2 = 0,275^{**}$), e também na camada de 0,20-0,30 m onde obtiveram correlação positiva e significativa a 1% entre a PT x DP ($r^2 = 0,646^{**}$).

Tabela 5. Matriz de correlação dos atributos físicos de um LATOSSOLO na profundidade de 0,20 - 0,40 m sob plantio direto no sequeiro.

<i>Atributos</i>	<i>Coefficiente de correlação</i>				
	RP2	UG2	DP2	RPb2	PTc2
UG2	-0,250	-	-	-	-
DP2	0,005	0,053	-	-	-
RPb2	0,099	-0,177	-0,287	-	-
PTc2	0,018	0,162	0,405**	-0,836**	-

RP, UG, DP, RPb, PTc, são respectivamente, resistência a penetração, umidade gravimétrica, densidade da partícula, resistência penetração análise de bancada, porosidade total calculada: ^(b) * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

Já a correlação entre a PTc2 x RPb2 ($r^2 = -0,836^{**}$) inversamente proporcional indica que quanto maior a PTc2 menor será a RPb2, o mesmo foi observado na camada de 0,00 – 0,20 m, resultados diferentes foram obtidos por MONTANARI et al. (2013) que estudou a correlação entre a produção do feijão sob cultivo mínimo e os atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico típico e obteve correlação positiva entre PT x RP na camada de 0,10-0,20 m ($r^2 = 0,008$) não significativa, e também correlação positiva entre PT x RP na camada de 0,20-0,30

m ($r^2 = 0,049$) não significativo, pode ser explicado pelos locais com menores PT imporem maiores dificuldades para a penetração das raízes das plantas, explicando a correlação negativa entre os dois atributos (Tabela 5).

3.3. Parâmetros dos semivariogramas simples para os atributos físicos do solo

Na tabela 5, estão apresentados os parâmetros dos semivariogramas simples, ajustados para os atributos físicos do solo estudado, nas camadas de 0,00 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m. Já na Figuras 3 foram apresentados seus respectivos semivariogramas e na Figura 4 foram apresentados seus respectivos mapas de variabilidade espacial.

Assim, ficou atestado que com exceção dos atributos UG2 e DP2 que apresentaram dependência espacial, todos os outros atributos apresentaram efeito pepita puro. O efeito pepita puro possui importância por indicar variabilidade não explicada, podendo ser decorrentes de erros de medidas ou microvariações não detectadas, considerando a distância de amostragem utilizada (CAMBARDELLA et al., 1994). A ocorrência do efeito pepita puro é um indicativo de que esses atributos são espacialmente independentes, apresentam distribuição aleatória ou de que o espaçamento da malha amostral é maior que o necessário para revelar a dependência espacial (MACHADO et al., 2007).

Tabela 6. Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos físicos de um LATOSSOLO Vermelho Distroférico sob plantio direto.

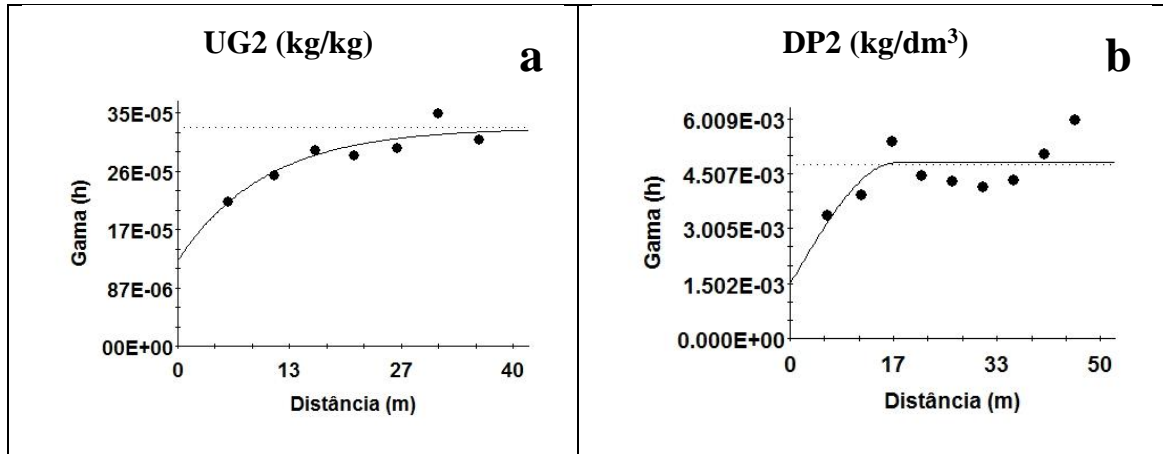
Atributos ^(a)	Parâmetros							Avaliador da dependência espacial	
	Modelo	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	Avaliador da dependência espacial		
							ADE ^(d)	Classe	
RP1	epp	-	1,745	-	-	-	-	-	
RP2	epp	-	3,02.10 ⁻¹	-	-	-	-	-	
UG1	epp	-	3,03.10 ⁻²	-	-	-	-	-	
UG2	exp	5.10 ⁻⁶	3,73.10 ⁻⁶	15	0,729	3,368.10 ⁻⁹	98	forte	
DP1	epp	-	4,140.10 ⁻³	-	-	-	-	-	
DP2	exp	6.10 ⁻⁵	4,55.10 ⁻³	12	0,461	1,206.10 ⁻⁶	98	forte	
RPb1	epp	-	5,25.10 ⁻¹	-	-	-	-	-	
RPb2	epp	-	3,22.10 ⁻¹	-	-	-	-	-	
PTc1	epp	-	3,722.10 ⁻³	-	-	-	-	-	
PTc2	epp	-	5,640.10 ⁻³	-	-	-	-	-	

^(a) RP, UG, DP, ARG, RPb, PTc, são respectivamente, resistência a penetração, umidade gravimétrica, densidade da partícula, resistência penetração análise de bancada, porosidade total calculada; ^(b) exp = exponencial, esf = esférico e epp = efeito pepita puro; modelo sucedido por número entre parêntesis, significando o número de pares no primeiro lag; ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) ADE = avaliador da dependência espacial.

Para o primeiro caso (UG2), seus parâmetros do semivariograma foram: Modelo = Exponencial; CO (efeito pepita) = $5 \cdot 10^{-6}$; CO+C (patamar) = $3,73 \cdot 10^{-6}$; Alcance = 15 m; Coeficiente de determinação (r^2) = 0,729; Soma dos quadrados dos resíduos (SQR) = $3,368 \cdot 10^{-9}$; Avaliador da dependência espacial (ADE) = 98%; e com forte razão de dependência espacial. Resultados semelhantes de razão de dependência espacial, r^2 , ADE, foram observados por MONTANARI et al. (2013) estudando a correlação entre os atributos produtivos do feijão sob cultivo mínimo irrigado e os atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico, e obtiveram na camada de 0,10-0,20 m os parâmetros de UG: Modelo = Exponencial; CO = $4,900 \cdot 10^{-5}$; CO+C = $3,970 \cdot 10^{-4}$; Alcance = 11,1 m; r^2 = 0,853; SQR = $7,045 \cdot 10^{-9}$; ADE = 87,1%; e com forte razão de dependência espacial. Já MARTINS et al. (2021) obteve resultados diferentes em Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob cultivo do eucalipto, onde a UG apresentou efeito pepita puro na camada de 0,00-0,10 m.

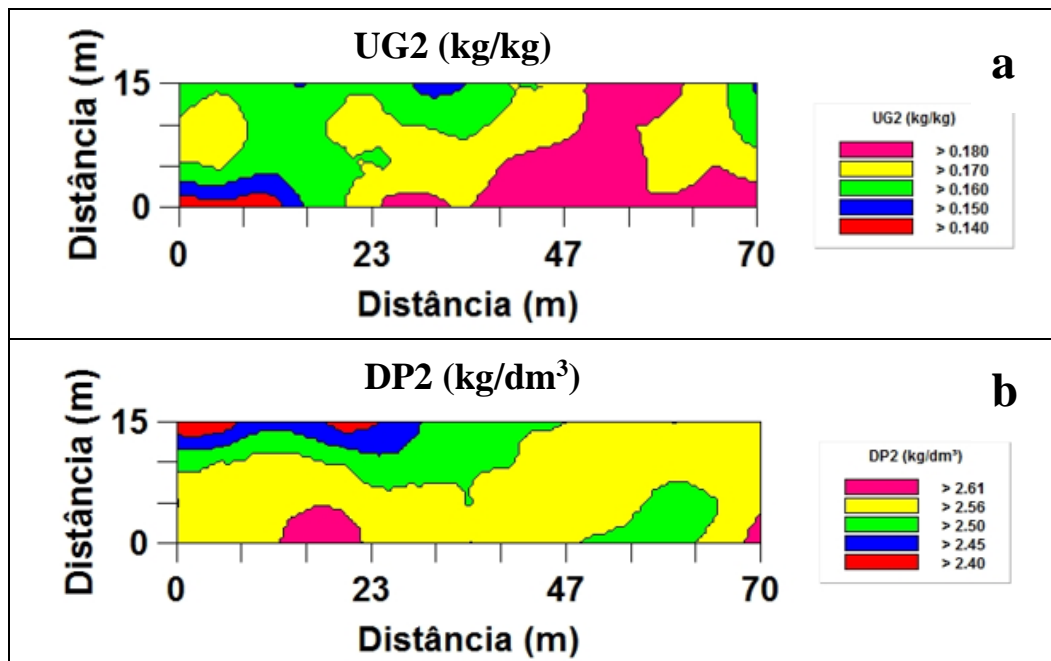
Já para o segundo caso (DP2) seus parâmetros do semivariograma foram: Modelo = Exponencial; CO (efeito pepita) = $6 \cdot 10^{-5}$; CO+C (patamar) = $4,55 \cdot 10^{-3}$; Alcance = 12 m; Coeficiente de determinação (r^2) = 0,461; Soma dos quadrados dos resíduos (SQR) = $1,206 \cdot 10^{-6}$; Avaliador da dependência espacial (ADE) = 98%; e com forte razão de dependência espacial. Os resultados foram semelhantes aos de MARTINS et al. (2021) que estudo a variabilidade dos atributos produtivos da cultura do eucalipto correlacionando-os com os atributos de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso, onde na camada de 0,00-0,10 m obteve-se os parâmetros de DP: Modelo = Exponencial; CO = $1 \cdot 10^{-5}$; CO+C = $5,520^{-3}$; Alcance = 18,3 m; r^2 = 0,827; SQR = $3,796 \cdot 10^{-7}$; ADE = 99,8%; e com forte razão de dependência espacial, demonstrando a grande relação do material de origem do solo com a DP.

Figura 3. Semivariogramas simples de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico (UG2 e DP2) sob plantio direto no sequeiro.



Fonte: Próprio autor

Figura 4. Mapas de krigagem de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico (UG2 e DP2) sob plantio direto no sequeiro.



Fonte: Próprio autor

4. CONCLUSÕES

O presente estudo, tratando da análise da variabilidade linear e espacial dos atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO distrófico no cerrado sob cultivo da soja em sistema de plantio direto sequeiro, considerando os materiais e métodos empregados e os resultados obtidos, analisados e interpretados, possibilitou as seguintes conclusões:

1) De acordo com os valores médios de RP e PT foi possível observar indícios de compactação em ambas as camadas do solo, com maior grau na camada superficial de 0,00-0,20 m. Explica-se estes indícios pelo tempo de implantação do plantio direto (10 anos).

2) Com exceção dos atributos: Umidade Gravimétrica (UG2) e Densidade da Partícula (DP2) na camada de 0,20-0,40 m que apresentaram forte razão de dependência espacial, todos os demais atributos indicaram efeito pepita puro, demonstrando heterogeneidade entre os resultados obtidos, não permitindo a geração de mapas de krigagem, este efeito ocorre por diversos motivos, entre eles: espaçamento amplo entre as amostras; poucos pontos amostrais para detectar a dependência espacial; falta de manejo na área amostral e área degradada.

3) A dependência espacial causada pela Densidade da Partícula na camada de 0,20-0,40 m (DP2) explica-se por esta ser influenciada pelo material de origem presente no solo e também pela matéria orgânica do solo está influenciada pela quantidade de palhada existente na área, se tratando de um solo sob sistema de plantio direto com mais de 10 anos, houve uma grande disponibilização de palhada e como consequência matéria orgânica ao longo dos anos. Já a dependência espacial causada pela Umidade Gravimétrica na camada de 0,20-0,40 m (UG2) explica-se por esta ser influenciada pela quantidade de palhada existente na área, está que variou em diversos pontos da malha amostral.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, G. A. **Influência de diferentes tipos de plantas sobre a estrutura do solo em plantio direto**. UFFS. Cerro Largo, RS. 2016.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141
- BENGHOUGH, A. G., MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, v.41, p.341-358, 1990.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.
- CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; OLIVEIRA, I. A.; SANTOS, L. A. C.; AQUINO, R. Variabilidade espacial de atributos físicos em Alfissol sob sistemas agroflorestais, região de Humaitá, estado de Amazonas, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias / Revista Amazônica de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 56, n. 2, pág. 149-159, 2013
- CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 695-703, 2003.
- COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Métodos de pesquisa em administração**. 10. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: 12º Levantamento, setembro 2020 – safra 2019/2020.: Brasília: **Companhia Nacional de Abastecimento**. 2020. Disponível em: <<http://www.https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3608-ultimo-levantamento-consolida-safrarecorde-de-graos-em-257-8-milhoes-de-toneladas>>. Acesso em: 07/07/2021.
- DALCHIAVON, F.C.; MONTANARI, R.; ANDREOTTI, M. Production and quality of *Urochloa decumbens* (stapf) r.d. webster forage co-related to the physical and chemical properties of the soil. **Revista Ceres**, v. 64, n. 3, p.315-326, 2017.
- DEMATTE, J. L. I. **Levantamento detalhado dos solos do Campus Experimental de Ilha Solteira**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1980. 44 p.

- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo, 3ª ed. Revisada. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 575 p. 2017.
- FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; CENTURION, J. F.; BARBOSA, G. F. Variabilidade espacial da produtividade do feijão em um Latossolo Vermelho distroférico sob preparo convencional e plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 1, p. 61-67, 2005
- HAIR JR, J. F.; BABIN, B.; MONEY, A. H.; SAMOUEL, P. **Fundamentos de métodos de pesquisa em administração**. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. **Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E)**, 2014.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. 1.ed. **New York: Oxford University Press**, 1989. 5p.
- KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Embrapa Trigo, 2000.
- LIMA, C.G.R.; CARVALHO, M.P.; NARIMATSU, K.C.P.; SILVA, M.G.; QUEIROZ, H.A. Atributos físico-químicos de um latossolo do Cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.1, p.163-173, 2010.
- MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 31, p. 591-599, 2007.
- MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- MAROCO, J. **Análise estatística com utilização do SPSS**. 2. ed. Lisboa: Sílabo, 2003.
- Martins, I. M. da S., & Montanari, R. (2021). Variabilidade linear dos atributos dendrométricos do Eucalipto correlacionados com atributos de um latossolo do cerrado Sul Mato-Grossense [Monografia de Conclusão de Curso em Agronomia - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista. São Paulo].
- MONTANARI, R.; PANACHUKI, E.; LOVERA, L. H.; CORREA, A. R.; OLIVEIRA, I. S.; QUEIROZ, H. A.; TOMAZ, P. K. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 385-396, 2015.

- MONTANARI, R.; PELLIN, D. M. P.; JÚNIOR, C. A. S.; CARVALHO, M. P.; GIOIA, M. T.; DALCHIAVON, F. C.; GONZALEZ, A. P. Correlação entre produção de feijão e atributos físicos de um Latossolo em Mato Grosso do Sul. **Revista Ceres**, v. 60, p. 772-784, 2013.
- NAKAO, A. Sorgo consorciado com capim paiaguás sob diferentes densidades de semeadura de guandú-anão na produção de silagem em rotação com soja no cerrado sob sistema plantio direto. 2021. 94f. **Tese (Doutorado)**. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, Ilha Solteira, 2015
- OLIVEIRA, I. A.; JUNIOR, J. M.; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; FREITAS, L.; SIQUEIRA, D. S.; CUNHA, J. M. Variabilidade espacial e densidade amostral da suscetibilidade magnética e dos atributos de Argissolos da Região de Manicoré, AM. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 668-681, 2015.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: Fealq, 2002.
- SALOMÃO, P. E. A.; KRIEBEL, W.; DOS SANTOS, A. A.; MARTINS, A. C. E. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. e154911870-e154911870, 2020.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; ALMEIDA, J.A.; ARAUJO FILHO, J.C. CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. Brasília, DF: Embrapa. 385p. 2018.
- SCHLOTZHAVER, S.D.; LITTELL, R.C. SAS system for elementary statical analysis. 2.ed. Cary: SAS, 441p. 1997.
- STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 17, p. 1301-1309, 2013.
- SIMÕES, W. L.; SILVA, E. L.; LIMA, D. M.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 1061-1068, 2006.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.15, p.229-235, 1991.

STOLF, R.; MURAKAMI, J.H.; BRUGNARO, C.; SILVA, L.G.; SILVA, L.C.F.; MARGARIDO, L.A.C. Penetrômetro de impacto Stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.3, p.774-782, 2014

TAVANTI, R.F.R.; MONTANARI, R.; PANOSSO, A.R.; FREDDI, O. S.; PAZ-GOZÁLEZ, A. Função de pedotransferência para estimar o índice estrutural “S” do solo e a variabilidade espacial em um latossolo dentro de um sistema de pecuária. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 1, p. 34-44, 2020.

TORMENA, C.A.A.; SILVA, Á.P. da; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 573-581, 1998.

VIEIRA, M.L.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1271-1280, 2007.