

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO”**

FACULDADE DE ENGENHARIA

CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

RAUL STÁBILE DE ARAUJO

**VARIABILIDADE LINEAR E ESPACIAL DA
ESTABILIDADE DOS AGREGADOS DE UM LATOSSOLO
SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO CERRADO**

Ilha Solteira – SP

Dezembro de 2022

RAUL STÁBILE DE ARAUJO

**VARIABILIDADE LINEAR E ESPACIAL DA ESTABILIDADE DOS
AGREGADOS DE UM LATOSSOLO SOB SISTEMA PLANTIO
DIRETO NO CERRADO**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira -
Unesp como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.**

Orientador: Prof. Dr. Rafael Montanari

Ilha Solteira – SP

Dezembro de 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

A663v Araujo, Raul Stábile de.
Variabilidade linear e espacial da estabilidade dos agregados de um latossolo sob sistema plantio direto no cerrado / Raul Stábile de Araujo. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
31 f. : il.

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. Atributos físicos do solo. 2. Geoestatística. 3. Manejo do solo.

Raiane da Silva Santos
Raiane da Silva Santos
Supervisora Técnica de Apoio
Serviço Técnico de Biblioteca, Arquivamento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CER/9 - 9999

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 linear e espacial da estabilidade dos agregados de um latossolo sob sistema de plantio direto no cerrado

ALUNO: Raul Stábile de Araújo

RA: 181050412

ORIENTADOR: Rafael Montanari

Aprovado () - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: 9,5

Comissão Examinadora:

9,5



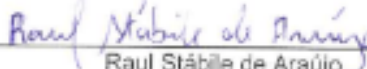
Prof. Dr. Rafael Montanari
Presidente (Orientador)



Dr. Douglas Henrique Bandeira



Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho



Raul Stábile de Araújo

Ilha Solteira, 15 de dezembro de 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre estar ao meu lado. Agradeço à toda minha família, em especial ao meu pai Edvaldo, minha mãe Tereza e meu irmão Rafael, sem vocês nada disso seria possível. Agradeço aos meus amigos e companheiros de faculdade que estiveram juntos comigo nesses anos de graduação. Agradeço aos meus professores, todos foram importantes para minha formação, em especial ao professor e orientador Rafael Montanari.

RESUMO

VARIABILIDADE LINEAR E ESPACIAL DA ESTABILIDADE DOS AGREGADOS DE UM LATOSSOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NO CERRADO.

A análise geostatística tem como função minimizar os custos e impactos ambientais no campo, fazendo com que manejos diferentes sejam adotados, em uma mesma área e somente onde seja necessário. A variabilidade dos atributos pode indicar os tipos de manejos a serem adotados, visto que estima a dependência espacial de cada um, até onde esse atributo pode exercer influência dentro do solo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade linear e espacial da estabilidade dos agregados de um Latossolo Vermelho distroférico, no município de Selvíria – MS, com o cultivo da soja sob sistema de plantio direto em talhão irrigado por pivô central, retirando-se amostras de 60 pontos, com 10 metros de espaçamento entre eles, em duas profundidades, 0,00 – 0,20m e 0,20 – 0,40m. Os atributos que obtiveram dependência espacial foram DMG1, DMP1, DMG2, DMP2, AGR1 e SIL1, variando entre moderada e forte. Por meio da interpolação dos dados coletados, foram feitos mapas através do método de krigagem. O maior coeficiente de determinação espacial (r^2) para os parâmetros dos semivariogramas ajustados foi SIL1 (0,968) e o menor DMP2 (0,799). Os alcances geoestatísticos obtidos ficaram entre 15,2m (DMP1) e 53m (SIL1). A análise obteve bons valores tanto de DMG quanto de DMP, mostrando que o solo está bem estruturado, ou seja, o sistema plantio direto possui relação direta com a estabilidade dos agregados do solo, evidenciando ainda mais o papel da matéria orgânica como seu principal agente cimentante.

Palavras-chaves: Atributos físicos do solo; Geoestatística, Manejo do solo.

ABSTRACT

LINEAR AND SPATIAL VARIABILITY OF AGGREGATE STABILITY OF AN OXISOL UNDER NO-TILLING SYSTEM IN CERRADO.

The geostatistical analysis has the function of minimizing the costs and environmental impacts in the field, causing different managements to be adopted, in the same area and only where necessary. The variability of the attributes can indicate the types of management to be adopted, since it estimates the spatial dependence of each one, to what extent this attribute can exert influence on the soil. The objective of this work was to evaluate the linear and spatial variability of the stability of the aggregates of a dystroferric Red Latosol, in the municipality of Selvíria - MS, with soybean cultivation under no-tillage system in a plot irrigated by central pivot, taking samples of 60 points, with 10 meters of spacing between them, in two depths, 0.00 – 0.20m and 0.20 – 0.40m. The attributes that obtained spatial dependence were DMG1, DMP1, DMG2, DMP2, AGR1 and SIL1, ranging from moderate to strong. Through the interpolation of the collected data, maps were made using the kriging method. The highest coefficient of spatial determination (r^2) for the adjusted semivariogram parameters was SIL1 (0.968) and the lowest DMP2 (0.799). The geostatistical ranges obtained were between 15.2m (DMP1) and 53m (SIL1). The analysis obtained good values for both DMG and DMP, showing that the soil is well structured, that is, the no-tillage system has a direct relationship with the stability of soil aggregates, further evidencing the role of organic matter as its main cementing agent.

Key-words: Soil physical attributes; Geostatistics, Soil management.

SUMÁRIO

- 1. INTRODUÇÃO;**
- 2. MATERIAL E MÉTODOS;**
- 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO;**
- 4. CONCLUSÕES;**
- 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

1. INTRODUÇÃO

A definição mais utilizada no Brasil atualmente é a de que o solo representa um conjunto dinâmico e tridimensional de corpos naturais bióticos e abióticos, compostos por frações sólidas, líquidas e gasosas, possuindo materiais de origens orgânica e mineral, que recobrem quase toda a superfície dos continentes, sendo um recurso não renovável originado ao longo do tempo pela ação da natureza e hoje pode ter sofrido a ação antrópica (EMBRAPA).

Um dos pilares do sistema plantio direto (SPD) é o adequado manejo da cobertura do solo, ou seja, em nenhum momento, até mesmo na entressafra, o solo deve ficar descoberto. Essa prática diminui a intensidade da erosão causada pela gota da chuva, além de ser importante para a formação da matéria orgânica do solo e controlar as plantas daninhas. A adoção das práticas corretas aliadas a esses fatores faz com que as características químicas, físicas e biológicas sejam mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas (ALVARENGA *et al*, 2001). Consequentemente a rotação e a sucessão de culturas são essenciais para a formação e manutenção de uma cobertura sobre o solo.

A manutenção da cobertura vegetal na superfície irá trazer benefícios ao sistema em relação às propriedades do solo, que os mesmos sob cultivo tradicional, com incorporação dos resíduos, não trariam (HOLTZ SA *et al*, 1995). As principais mudanças de um sistema de cultivo para o outro, sob sistema plantio direto e sob cultivo tradicional, são observadas na temperatura, umidade, distribuição dos nutrientes e matéria orgânica presente no solo (MUZILLI *et al*, 1983).

Os agregados são componentes estruturais do solo, sendo assim possuem extrema importância para a manutenção da porosidade e aeração, infiltração de água e controle de processos erosivos, facilitando o crescimento de raízes e população microbiana (OADES *et al*, 1984; DEXTER *et al*, 1988). Um agregado é um conjunto de partículas primárias (areia, silte, argila) do solo que se aderem umas às outras mais fortemente do que as partículas circunvizinhas se comportando mecanicamente como uma unidade estrutural (KEMPER & ROSENAU *et al*, 1986), portanto sua manutenção é tão importante no manejo do solo.

Solos contendo óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro (que em pH baixo possuem carga superficial positiva), e caulinita (que possuem carga superficial negativa), por exemplo Latossolos (solos antigos), formam uma microestrutura típica apresentando alta

estabilidade devido à força de adesão dessas partículas. O tamanho dessas partículas geralmente está na faixa de tamanho conhecida como “areia falsa”, fazendo com que esses solos que são argilosos (ou muito argilosos), se comportem, em muitos aspectos como um solo arenoso, por possuir excelente capacidade de drenagem de água (EMBRAPA, 2004).

Os sistemas de manejo que mantêm o solo descoberto, sistema convencional por exemplo, acabam diminuindo a estabilidade dos agregados, consequentemente ocasionando selamento superficial do solo, devido à chuva, reduzindo a infiltração de água, causando enxurradas e erosões hídricas. Devido a isso, muitos estudos têm utilizado a estabilidade dos agregados como um indicador da qualidade física do solo, pois é uma característica sensível e altera-se muito facilmente conforme os diferentes manejos adotados (ROTH *et al*, 1991).

A formação e estabilização dos agregados do solo ocorrem simultaneamente na atuação de processos físicos, químicos e biológicos (SILVA MIELNICZUK *et al*, 1997), necessita que os colóides do solo se encontrem floculados e que todos os componentes dos agregados sejam posteriormente estabilizados por um agente cimentante (HILLEL *et al*, 1980).

Os principais fatores que interferem na agregação do solo são: tipo e teor de argila, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, exsudatos orgânicos das plantas, substâncias orgânicas decompostas pela ação de microrganismos e outros compostos orgânicos. Os agentes cimentantes dos agregados são: a matéria orgânica, os óxidos e hidróxidos. Outro fator que interfere na agregação são os ciclos de umedecimento e secagem do solo (CARVALHO *et al*, 1991; MALTONI *et al*, 1994).

Aumentar a estabilidade dos agregados, ou seja, tornar um solo mais estável, está intimamente ligado com a capacidade que matéria orgânica possui de se aderir às partículas minerais do solo, formando assim as ligações argilo-metal-húmicas (EDWARDS & BREMNER *et al*, 1967). Os agentes orgânicos envolvidos na estabilização dos agregados do solo são divididos quanto a sua resistência à ação microbiana, sendo: transicionais, temporários e persistentes.

Produzir ano após ano em solos sob sistemas de cultivos intensivos resulta na perda da estrutura original pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores,

com consequente redução de macroporos e aumento de microporos e da densidade, pois o volume do sistema como um todo foi diminuído (CARPENEDO MIELNICZUK *et al*, 1990).

As análises estatísticas clássicas, que foram muito utilizadas, levavam em consideração apenas as médias, não considerando a dependência das amostras como um dos critérios a serem analisados. As análises geoestatísticas e seus fundamentos baseados na teoria de variáveis regionalizadas, por intermédio do semivariograma e da dependência espacial (ISAACS SRIVASTAVA *et al*, 1989) vieram para revolucionar o manejo do solo. Quanto maior for o número de amostras analisadas, maior será a assertividade das medidas a serem tomadas, com isso o método geoestatístico se torna uma alternativa para otimizar esse processo (MULLA *et al*, 1992).

Portanto a paisagem pode ser utilizada na definição de zonas de manejo, através da criação de mapas que permitem a adoção de práticas regionalizadas no solo e juntamente com a definição da variabilidade espacial, possibilita melhor controle dos fatores de produção das culturas, proteção ambiental, redução de custos e riscos (FRAISSE *et al*, 1999).

O objetivo do trabalho foi avaliar espacial e linearmente a estabilidade dos agregados do solo de um Latossolo Vermelho distroférico textura argilosa sob cultivo de soja em sistema plantio direto em área irrigada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), da Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS), localizada no município de Selvíria, estado do Mato Grosso do Sul (20°20'50" S e 51°24'28" O), a uma altitude de 350 metros em relação ao nível do mar. A cidade é influenciada pelo clima tropical úmido Aw, segundo Koppen, apresentando inverno seco e verão úmido, o índice de precipitação médio anual varia de 1200 a 1500mm. A unidade experimental está localizada na margem direita do lago da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira e possui, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa (EMBRAPA, 2018).

Figura 1. Mapa do estado do Mato Grosso do Sul.



Fonte: Google Maps.

Figura 2. Mapa indicando a cidade de Selvíria – MS.



Fonte: Google Maps.

Figura 3. Localização da Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão - FEPE, Selvíria – MS.



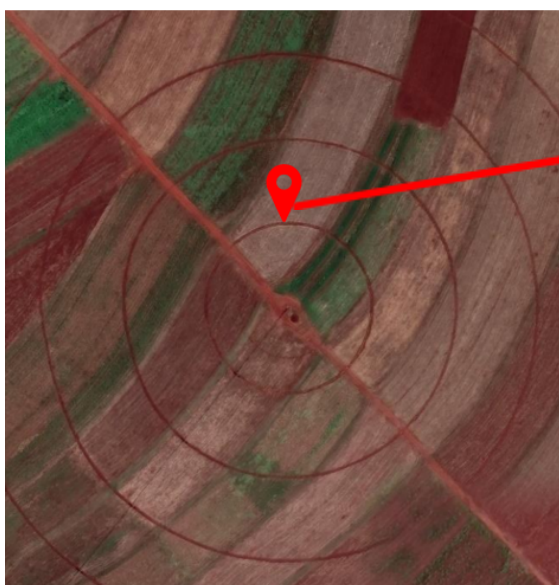
Fonte: Google Earth.

Figura 4. Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão - FEPE, Selvíria – MS.



Fonte: Google Earth.

Figura 5. Área experimental.



20°20'50"S e 51°24'28"O,
350 metros de altitude.

Fonte: Google Earth.

Na mesma área do experimento, em 2016 foi feita a análise dos atributos químicos do solo, matéria orgânica, pH, potássio, cálcio, magnésio e alumínio.

Tabela 1. Caracterização dos atributos químicos do solo na camada de 0,00 – 0,20m no ano de 2016, antes da realização do experimento.

Profundidade	M.O. g dm ⁻³	pH	K	Ca	Mg	AL
					mmolc.dm ⁻³	
0,00 – 0,20 m	21	4,9	4,8	20	11	03

Fonte: Nakao, 2021.

Tabela 2. Análise de textura do solo.

Profundidade (m)	Argila	Areia	Silte
	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
0,00 - 0,20	491,67	410,10	97,40
0,20 - 0,40	520,42	389,40	88,95

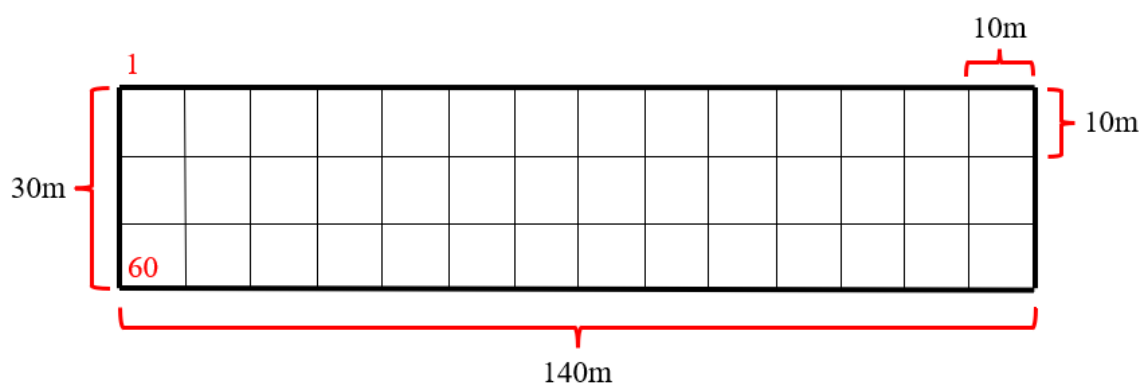
Fonte: Próprio autor.

A área passou a ser cultivada com o intuito científico através de ensaios experimentais em 2013, onde havia cultivo de culturas anuais em sistema de semeadura direta há 10 anos. Durante a condução dos experimentos houve a rotação das culturas: aveia preta em 2013 (semente inoculada e adubação fosfatada); consórcio milho/capim Marandu em 2013/14 (inoculação das sementes de milho + residual de fósforo); feijoeiro de inverno em 2014 (residual de adubação fosfatada e de inoculação); cultivo de capim Marandu para produção de palhada em 2014/15; aveia preta em 2015 (semente inoculada e residual de adubação fosfatada); consórcio milho/capim Marandu em 2015/16 (inoculação das sementes de milho + residual de fósforo); feijoeiro de inverno em 2016 (residual de adubação fosfatada e de inoculação). Todos esses ensaios foram realizados com a finalidade de caracterizar a fertilidade do solo, avaliar o efeito da decomposição da

palhada das culturas anteriores e acompanhar o residual de fósforo. Com isso, ao final de cada série de consórcio era realizada a determinação da fertilidade do solo segundo a metodologia proposta por (RAIJ, 2001).

A área do experimento possui 30 metros de largura (eixo y) e 140 metros de comprimento (eixo x), com 4200m² (0,42 hectare). Cada vértice da figura abaixo representa um ponto amostral, no total foram coletadas amostras de 60 pontos em duas profundidades.

Figura 6. Área experimental.



Fonte: Próprio autor.

O grau de agregação do solo é expresso por índices que caracterizam a distribuição dos tamanhos de agregados que compõem o solo, são eles: Diâmetro Médio Ponderado (DMP), Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e Índice de Estabilidade de Agregados (IEA). O DMP é a quantificação estimada de solo em cada classe de agregados, este índice aumenta à medida em que se aumenta a porcentagem dos maiores agregados; já o DMG mostra o tamanho mais frequente dos agregados por classe; e o IEA é uma medida de agregação do solo. DMP e DMG são, ambos, expressos em milímetros e IAE em porcentagem (CASTRO FILHO, *et al*, 2002).

As amostras (torrões) foram coletadas através do uso de um enxadão nas profundidades 0,00-0,20m e 0,20-0,40m, em 60 pontos demarcados por estacas dentro do talhão, totalizando 120 amostras e para a análise da estabilidade dos agregados em água foi utilizado o Método de Angers & Mahuys (2000). Os torrões levados ao Laboratório de Física do Solo posteriormente foram destorroados, em seguida cada uma das amostras passou por uma peneira de 4,00mm e de cada uma delas foi retirado 50,00 gramas para a análise dos agregados e uma outra quantidade não exata para a determinação da umidade.

Os 50 gramas de cada amostra foram colocados em um tanque coberto com água e deixados sobre a ação de um agitador mecânico vertical por 10 minutos, onde encontravam-se 5 peneiras, cada uma delas representa uma das classes dos agregados, possuindo diâmetros de 2,0mm, 1,0mm, 0,50mm, 0,25mm e 0,125mm de cima para baixo, denominadas C1, C2, C3, C4 e C5 respectivamente.

Após passarem pelos 10 minutos de agitação, a quantidade de solo contida em cada uma das 5 peneiras foi retirada com o auxílio de uma piceta plástica, colocadas em latas e levadas para a secagem em uma estufa juntamente com as amostras separadas para a determinação da umidade.

Passado o processo de secagem, com auxílio de uma balança de precisão pesou-se cada uma das latas contendo solo, essas foram comparadas com o peso das latas vazias, determinando-se assim quanto de solo havia em cada classe de peneira. O mesmo procedimento foi realizado para quantificação da umidade.

Figura 7. Exemplo de planilha.

PONTO 2									
		Classe	Diâ(mm)	Tara	L+Agr	Agr(g)	Agr(%)		
						48,890			
		8-2.	5,0000	17,79	55,430	37,640	76,989	DMG=	3,2389
		2-1.	1,5000	27,27	30,200	2,930	5,993		
PESO=	50,090	1-0,5.	0,7500	17,99	20,520	2,530	5,175	DMP=	4,0030
U=	48,890	0,5-0,25.	0,3750	17,68	19,960	2,280	4,664		
P.seco=	1,200	0,25-0,125	0,1875	17,48	19,400	1,920	3,927		
		0,125-0,000	0,0625	0,00	0,000	0,000	0,000		
							96,75		
Ps + tara	Tara Úmido	P úmido		Sum - Pen					
78,55	29,38	50,37		1,590					

Fonte: Próprio autor.

Figura 8. Fórmula do DMG.

O *Diâmetro Médio Geométrico* (DMG) dos agregados (Kemper & Rosenau, 1986):

$$\text{DMG} = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n w_i \log x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right]$$

Mostra o tamanho mais frequente dos agregados por amostra.

w_i = peso de agregados (g) dentro de uma classe de agregados de diâmetro médio x_i .

Fonte: EMBRAPA, 2004.

Figura 9. Fórmula do DMP.

O *Diâmetro Médio Ponderado* (DMP) dos agregados (Kemper & Rosenau, 1986):

$$\text{DMP} = \sum_{i=1}^n x_i w_i$$

Somatório da quantidade média de solo em cada classe de agregados.

w_i = proporção de cada classe de agregados em relação ao total;

x_i = diâmetro médio de cada classe de agregados.

Fonte: EMBRAPA, 2004.

Os atributos foram submetidos a análise descritiva com auxílio da estatística clássica, sendo: diâmetro médio geométrico (mm), diâmetro médio ponderado (mm), argila (g kg^{-1}), areia (g kg^{-1}) e silte (g kg^{-1}), sendo DMG1, DMP1, ARG1, ARE1 e SIL1 na profundidade de 0,00 – 0,20m e DMG2, DMP2, ARG2, ARE2 e SIL2 na profundidade de 0,20 – 0,40m respectivamente. Através do SAS (SCHLOTZHAVER LITTEL, 1997) foi calculado média, mediana, valores mínimo e máximo, desvio padrão, coeficiente de variação, curtose e assimetria. A variabilidade de um atributo pode ser classificada segundo a magnitude do seu coeficiente de variação (CV), podendo ser determinadas como baixa ($\text{CV} \leq 10\%$), média ($10\% < \text{CV} \leq 20\%$), alta ($20\% < \text{CV} \leq 30\%$) e muito alta

(CV > 30%) (PIMENTEL GOMES GARCIA *et al*, 2002). A análise da distribuição de frequência também foi feita, para tanto utilizou-se o teste de Shapiro e Wilk (1965) a 1% de probabilidade, com isso foi possível testar a hipótese de normalidade dos atributos (x).

A matriz de correlação foi montada com o intuito de efetuar as regressões lineares para as combinações, de duas em duas, entre todos os atributos do solo avaliados (diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, argila, areia e silte) nas duas profundidades coletadas 0,00 – 0,20m e 0,20 – 0,40m. O propósito deste estudo foi avaliar a correlação linear entre eles, tentando descobrir se houve elevada correlação, com isso poderiam apresentar semivariograma cruzado, portanto, co-krigagem. Para cada atributo, foi analisada sua dependência espacial, através do cálculo do semivariograma simples, usando o pacote Gamma Design Software (GS+, 2004). Os ajustes de semivariogramas simples e cruzados, em função de seus modelos, foram feitos pela seleção inicial de: (a) menor soma de quadrados dos resíduos (SQR); (b) maior coeficiente de determinação (r^2); e (c) maior avaliador da dependência espacial (ADE). A decisão final do modelo que representou o ajuste foi realizada pela validação cruzada e também para a definição do tamanho da vizinhança que acabou proporcionando a melhor malha de krigagem e/ou co-krigagem, realizadas através da krigagem em blocos. Para cada atributo avaliado, foram relacionados: efeito pepita (Co), alcance (Ao) e patamar (Co + C). Para a análise do avaliador da dependência espacial (ADE) foi utilizada a seguinte expressão: $ADE = [C / (C + Co)] \cdot 100$, onde: $ADE < 25 \%$ indica variável espacial fracamente independente; $25 \% < ADE < 75 \%$ indica variável espacial moderadamente dependente; e $ADE > 75 \%$ indica variável fortemente dependente.

Em compensação, a validação cruzada é uma ferramenta destinada a avaliar modelos alternativos de semivariograma simples (que efetuará a krigagem). Nessa análise, cada ponto contido dentro do domínio espacial é removido individualmente e seu valor estimado seria descartado, como se não existisse, com isso podemos montar um gráfico de valores estimados versus valores observados para todos os pontos. O coeficiente de correlação (r^2) entre esses valores determina a eficiência do ajuste, devido a técnica da soma dos quadrados dos resíduos (SQR). Um ajuste considerado perfeito teria o coeficiente de regressão igual a 1 e a linha do melhor ajuste coincidiria com o modelo perfeito, ou seja, o coeficiente linear seria igual a zero e o angular igual a 1 (GS +, 2004). Dessa forma, foram obtidos, através da interpolação, os mapas de krigagem, para avaliação da dependência e da interdependência espacial entre os atributos

estudados. Os componentes geoestatísticos determinados foram o semivariograma simples e krigagem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quadro 1. Análise descritiva inicial dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob a cultura da soja irrigada.

Atributo ^(a)	Medidas estatísticas descritivas									Probabilidade do teste ^(b)	
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Pr<W		
			Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<W		DF
Atributos físicos do solo											
DMG1(mm)	3,41	3,60	1,479	4,71	0,845	24,73	-0,807	-0,526	0,0038	IN	
DMP1(mm)	4,11	4,29	2,43	5,33	0,646	15,7	-0,0498	-0,832	0,0005	IN	
DMG2(mm)	1,77	1,67	1,023	3,88	0,591	33,25	2,604	1,524	<0,0001	IN	
DMP2(mm)	2,69	2,64	1,591	4,43	0,632	23,5	0,305	0,684	0,06	NO	
ARG1(g kg ⁻¹)	491	487	427	503	33,07	6,72	0,560	0,592	0,19	NO	
ARG2(g kg ⁻¹)	520	520	428	591	31,12	5,9	0,529	-0,33	0,85	NO	
ARE1(g kg ⁻¹)	410	412	297	473	34,80	8,48	1,780	-0,790	0,0168	TN	
ARE2(g kg ⁻¹)	389	392	299	468	34,00	8,8	-0,102	-0,118	0,67	NO	
SIL1(g kg ⁻¹)	97,3	96	38	157	24,80	25,5	-0,105	0,061	0,95	NO	
SIL2(g kg ⁻¹)	89	88	62	137	18,20	20,5	-0,019	0,614	0,02	TN	

^(a) DMG = Diâmetro Médio Geométrico (mm), DMP = Diâmetro Médio Ponderado (mm), ARG = Argila (g kg⁻¹), ARE = Areia (g kg⁻¹), SIL = Silte (g kg⁻¹), 1 e 2 são respectivamente, profundidade de 0,00 – 0,20m e 0,20 – 0,40m, ^(b) DF = Distribuição de Frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

De acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), o solo de textura argilosa possui teor de argila entre 35 e 60% (EMBRAPA, 2018), consequentemente o solo estudado é classificado como argiloso, pois possui uma média de 50,55% (505,5 g kg⁻¹) de argila em sua composição.

Em relação aos valores médios de DMG1 e DMP1, respectivamente 3,41mm e 4,11mm, os resultados obtidos foram maiores do que os encontrados por VIÇOSA (2005), onde o DMG variou entre 0,30 a 1,24mm e DMP entre 0,60 a 1,85mm na camada de 0,10 – 0,20m, ambos em sistemas de plantio direto. Em relação às médias encontradas por TORRES PEREIRA (2015), DMP e DMG, 3,17mm e 1,94mm respectivamente (na camada de 0,00 – 0,20m) e 2,47mm e 1,30mm (na camada de 0,20 – 0,30m), em sistemas de semeadura direta em um Latossolo Vermelho, os valores do presente trabalho também foram superiores.

A diminuição nos valores de DMG1 e DMG2, 3,41mm e 4,11m, respectivamente, para os valores de DMG2 e DMP2, 1,779mm e 2,69mm, respectivamente, pode ser explicada devido a ação dos ciclos de umedecimento e secagem do solo, pois a camada de 0,00 – 0,020m está mais sujeita a sofrer com a ação desse processo, pois está em contato direto com a água e o ar, isso contribui para aumentar a estabilidade dos agregados na camada superior. Esses ciclos levam à desidratação de ligantes orgânicos e inorgânicos presentes no solo, proporcionando a formação de agregados maiores (HORN DEXTER *et al*, 1988; HORN *et al*, 1990).

Os valores de coeficiente de variação obtidos representam a variabilidade de cada atributo, a partir de sua magnitude, podendo ser baixa ($CV \leq 10\%$), média ($10\% < CV \leq 20\%$), alta ($20\% < CV \leq 30\%$) e muito alta ($CV > 30\%$) (PIMENTEL GOMES GARCIA *et al*, 2002). O CV foi classificado como: baixo em ARG1 (6,72%), ARG2 (5,9%), ARE1 (8,48%) e ARE2 (8,8%); médio: DMP1 (15,7%); alto: DMG1 (24,73%), DMP2 (23,5%), SIL1 (25,5%) e SIL2 (20,5%) e muito alto: DMG2 (33,25%). Comparando o CV encontrado em DMG e em DMP (nas duas profundidades), que ficou entre 15,7 e 33,25%, verificou-se que estão muito acima dos valores encontrados por TORRES PEREIRA (2015), onde o CV de DMG e DMP variou apenas entre 2,07 e 3,96%, classificando-se como baixo.

A análise de distribuição de frequência (DF) foi realizada através do teste de Shapiro e Wilk (1965) a 1% de probabilidade, através dela é possível observar e testar a normalidade dos dados. Os atributos DMP2, ARG1, ARG2, ARE2, SIL1 apresentaram distribuição de frequência do tipo normal (NO), ou seja, os dados estão muito próximos à média, ARE1 e SIL2 apresentaram DF tendendo a normal (TN), onde os dados estão próximos à média, contudo, os atributos DMG1, DMP1 e DMG2 apresentaram DF do tipo indeterminada (IN), ou seja, os dados são mais discrepantes, consequentemente se distanciam em relação à média.

Quadro 2. Matriz de correlação linear simples dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob a cultura da soja irrigada.

Atributos ^(a)	Coeficiente de correlação ^(b)									
	DMG1	DMP1	DMG2	DMP2	ARG1	ARG2	ARE1	ARE2	SIL1	SIL2
DMG1	1.0000**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DMP1	0.89527	1.0000**	-	-	-	-	-	-	-	-
DMG2	0.06567	0.08589	1.0000**	-	-	-	-	-	-	-
DMP2	0.01437	0.04921	0.9741**	1.0000**	-	-	-	-	-	-
ARG1	0.01001	-0.04962	0.34266	0.31546*	1.0000**	-	-	-	-	-
ARG2	0.31880	0.31138*	0.08127	0.07151	0.20871	1.0000**	-	-	-	-
ARE1	-0.15763	-0.14387	-0.34645	-0.29172*	-0.71789**	-0.48249**	1.0000**	-	-	-
ARE2	-0.22268	-0.22437	-0.28209*	-0.25915*	-0.45433	-0.80393**	0.74152**	1.0000**	-	-
SIL1	0.18040	0.24653	-0.03055	-0.06924	-0.28281*	0.37321	-0.44323	-0.43287	1.0000**	-
SIL2	-0.09306	-0.09179	0.41787	0.37756	0.47791**	0.00294	-0.58818**	-0.53814**	0.22295	1.0000**

^(a) DMG = Diâmetro Médio Geométrico, DMP = Diâmetro Médio Ponderado, ARG = Argila, ARE = Areia, SIL = Silte, 1 e 2 são respectivamente, profundidade de 0,00 – 0,20m e 0,20 – 0,40m ^(b) * Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

Os pares de atributos que apresentaram correlação negativa foram DMG2 x ARE2, DMP2 x ARE2, ARG1 x ARE1, ARG1 x SIL1, ARG2 x ARE2 e ARE2 x SIL2. Isso significa que a correlação entre eles é inversamente proporcional, ou seja, à medida que um aumenta o outro diminui proporcionalmente.

A correlação negativa quando comparamos os atributos de textura do solo (argila, areia e silte) é explicada devido a sua variação de composição, quando o teor de argila na camada superior aumenta, consequentemente os teores de areia e silte diminuem, o que foi comprovado em ARG1 x ARE1 (-0,7189**) e em ARG1 x SIL1 (-0,28281*). O mesmo pode ser visualizado nas correlações entre ARG2 x ARE2 e ARE2 x SIL2.

As correlações inversamente proporcionais vistas nos pares de atributos DMG2 x ARE2 (-0,28209*) e DMP2 x ARE2 (-0,25915*), podem ter como agente causal justamente o teor de areia do solo em questão. Quanto maior for o teor de areia, menor serão os teores de silte e argila e também, em partes, de matéria orgânica, com isso, a capacidade de agregação do solo também acaba diminuindo, visto que argila e matéria orgânica são os principais formadores de agregados do solo. O mesmo foi evidenciado por VIÇOSA (2005), onde menores quantidades de argila e material orgânico presentes

entre os grânulos de areia não foram capazes de promover a agregação eficiente desses solos.

A única correlação positiva, ou seja, diretamente proporcional e que indica função crescente entre causa e efeito, foi observada entre os pares de atributos DMG2 x DMP2 (0,9741**), sendo ainda significativa a 1%, forte correlação. Levando em consideração que DMG é o tamanho mais frequente dos agregados por classe e DMP é o somatório ponderado do diâmetro médio das classes avaliadas, essa correlação positiva indica que o solo está bem estruturado e que pode se estruturar ainda mais, uma vez que se DMG aumentar, DMP consequentemente também irá e vice-versa. Essa mesma correlação DMG x DMP, também foi obtida, nas duas profundidades analisadas, em um Planossolo Hidromórfico no ecótono Cerrado-Pantanal (MONTANARI *et al*, 2015).

Quadro 3. Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos de um Latossolo Vermelho distroférico sob cultivo de soja irrigada.

Parâmetros								
Atributo ^(a)	Modelo ^(b)	Efeito					Avaliador da dependência espacial	
		Pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ +C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)	Classe
		<i>γ(h) simples dos atributos físicos do solo</i>						
DMG1 (mm)	gau	4,800.10 ⁻²	6,880.10 ⁻¹	15,9	0,879	3,57.10 ⁻³	93	forte
DMP1 (mm)	gau	2,900.10 ⁻²	4,000.10 ⁻¹	15,2	0,895	1,242.10 ⁻³	92,9	forte
DMG2 (mm)	esf	1,000.10 ⁻¹	3,450.10 ⁻¹	38,7	0,815	4,590.10 ⁻³	68,5	moderada
DMP2 (mm)	esf	1,480.10 ⁻¹	3,980.10 ⁻¹	38,2	0,799	5,57.10 ⁻³	38,2	moderada
ARG1 (g kg ⁻¹)	exp	4,700.10	1,078.10 ³	39,9	0,943	1,14.10 ⁻³	95,6	forte
ARG2 (g kg ⁻¹)	epp	5,76.10 ²	5,76.10 ²	-	-	-	-	-
ARE1 (g kg ⁻¹)	epp	3,62.10 ²	3,62.10 ²	-	-	-	-	-
ARE2 (g kg ⁻¹)	epp	3,25.10 ²	3,25.10 ²	-	-	-	-	-
SIL1 (g kg ⁻¹)	exp	7,5.10	6,54.10 ²	53	0,968	2,79.10 ⁻³	88,5	forte
SIL2 (g kg ⁻¹)	epp	2,02.10 ²	2,02.10 ²	-	-	-	-	-

^(a) DMG = Diâmetro Médio Geométrico, DMP = Diâmetro Médio Ponderado, ARG = Argila, ARE = Areia, SIL = Silte, 1 e 2 são respectivamente, profundidade de 0,00 – 0,20m e 0,20 – 0,40m ^(b)exp = exponencial, esf = esférico, epp = efeito pepita puro e gau = gaussiano; 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.

Semivariograma é um modelo de gráfico que mede e descreve a dependência espacial entre as amostras, representando a semivariância dos dados em relação à distância que os separa (MOLIN *et al*, 2015).

Estimar a dependência espacial de amostras vizinhas nos permite saber o quanto a presença de uma variável aleatória é capaz de influenciar seus vizinhos espacialmente. Através de um semivariograma simples é possível expressar o comportamento da variável regionalizada ou de seus resíduos, demonstrando o tamanho da sua zona de influência

(alcance máximo) em torno de uma amostra, sua variação e continuidade nas diferentes direções da área (ISAACS SRIVASTAVA *et al*, 1989).

O avaliador de dependência espacial (ADE) segue a seguinte classificação: $ADE < 25\%$ indica variável espacial fracamente independente; $25\% < ADE < 75\%$ indica variável espacial moderadamente dependente; e $ADE > 75\%$ indica variável fortemente dependente.

Os atributos ARG2, ARE1, ARE2 e SIL2 apresentaram efeito pepita puro (epp), ou seja, não houve dependência espacial, pois o alcance foi inferior ao menor espaçamento entre as amostras, assim nesses conjuntos de dados é possível observar uma distribuição aleatória que só pode ser interpretada pela estatística clássica.

Os atributos DMG1, DMP1, DMG2, DMP2, ARG1 e SIL1, apresentaram dependência espacial forte, forte, moderada, moderada, forte e forte, respectivamente. Em relação a eficiência do coeficiente de determinação espacial (r^2), verificou-se que ele decresceu na seguinte ordem: SIL1 (0,968), ARG1 (0,943), DMP1 (0,895), DMG1 (0,879), DMG2 (0,815) e DMP2 (0,799).

Os atributos DMG1, DMP1, DMG2, DMP2 obtiveram modelos gaussiano (gau), gaussiano (gau), esférico (esf) e esférico (esf) respectivamente, o mesmo não foi observado em um Planossolo Hidromórfico no ecótono Cerrado-Pantanal (MONTANARI *et al*, 2015), que para os mesmos atributos, todos apresentaram efeito pepita puro (epp), não havendo dependência espacial.

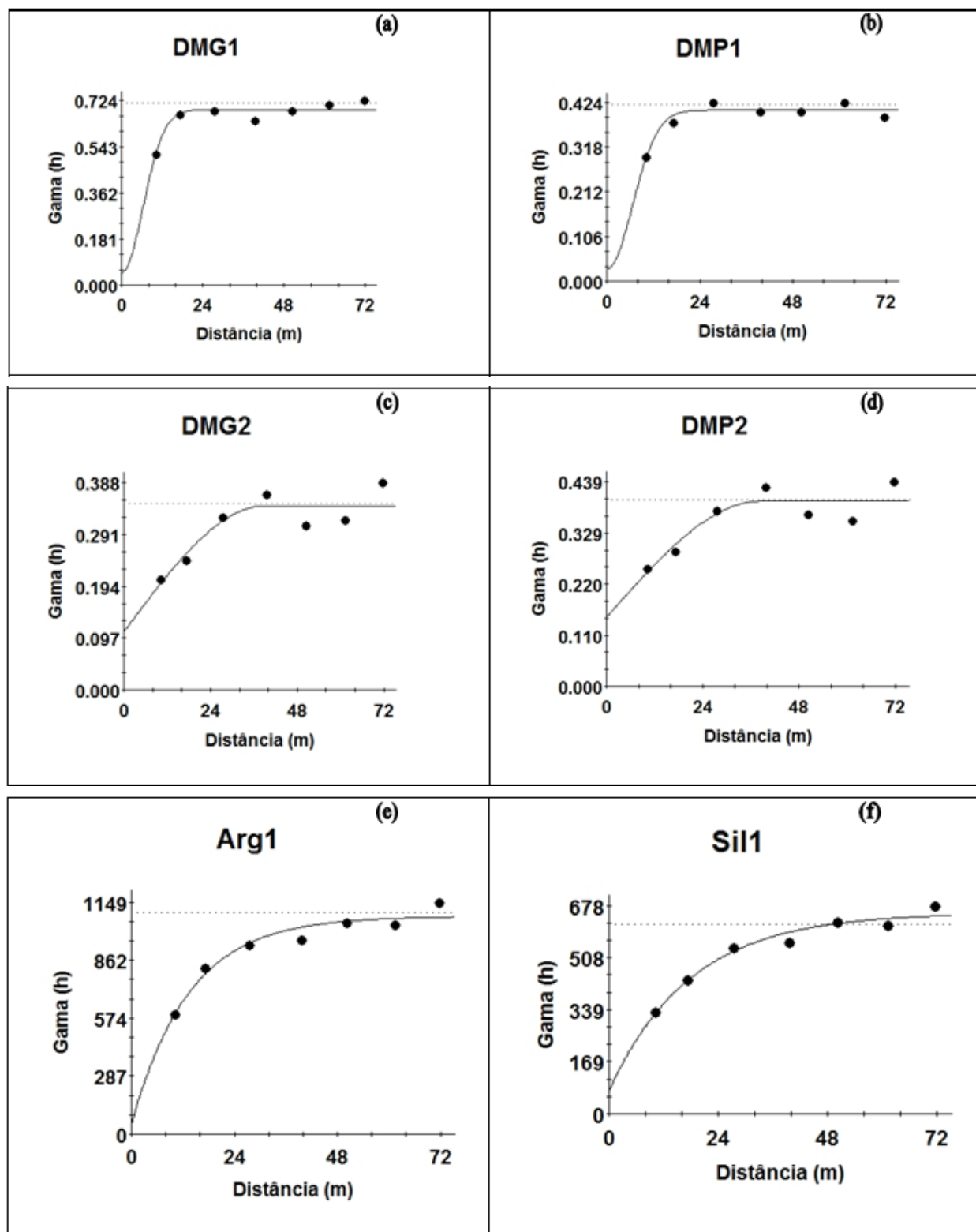
Em relação ao atributo SIL1, que apresentou modelo exponencial (exp), alcance de 53 metros e forte dependência espacial (88,5%), tais resultados não diferiram muito quando comparados ao de um Planossolo Hidromórfico no ecótono Cerrado-Pantanal (MONTANARI *et al*, 2015), que apresentou modelo gaussiano (gau), 111 metros de alcance e forte dependência espacial (100%). O mesmo trabalho obteve moderada dependência espacial para o atributo ARG1 (58,4%), diferindo deste, que obteve forte dependência espacial (95,6%).

O alcance das variáveis que apresentaram dependência espacial variou entre 15,2 e 53 metros. O principal parâmetro fornecido pela geoestatística é o alcance, pois fornece a distância na qual uma determinada variável regionalizada apresenta continuidade espacial

exercendo influência, em outras palavras, a partir dessa distância, o comportamento espacial da variável passa a ser totalmente aleatório (LEMOS FILHO *et al*, 2008).

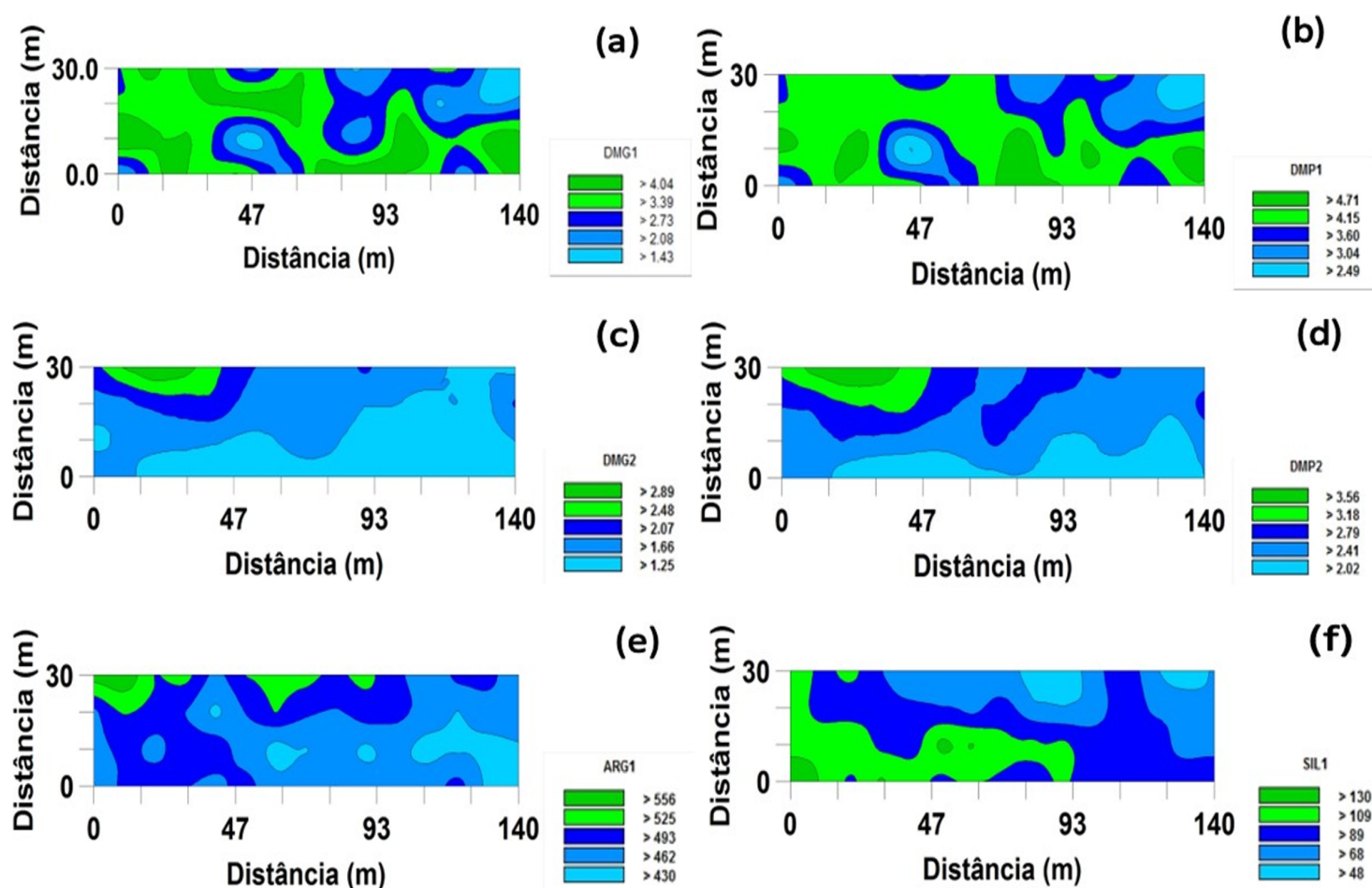
Com relação aos modelos de ajuste matemáticos ao semivariograma, DMG1 e DMP1 apresentaram modelo gaussiano (gau), DMG2 e DMP2 esférico (esf) e ARG1 e SIL1 exponencial (exp). Quando o modelo do semivariograma é definido como esférico ele apresenta baixa continuidade da variabilidade espacial e é o mais ajustado dos três modelos, quando exponencial apresenta média continuidade e quando gaussiano pode ser interpretado como grande prosseguimento da variabilidade espacial (LIMA *et al*, 2017). O modelo gaussiano é o que possui menor alcance, seguido do modelo esférico (esf), o exponencial (exp) é o que fica com o título de maior alcance, pois sua curva é mais acentuada em relação aos outros dois.

Figura 10. Semivariogramas simples dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob cultivo de soja irrigada.



DMG1 e DMP1 são respectivamente densidade média geométrica e densidade média ponderada na profundidade de 0,00 – 0,20m, DMG2 e DMP2 são respectivamente densidade média geométrica e densidade média ponderada na profundidade de 0,20 – 0,40m, ARG1 e SIL1 são respectivamente argila e silte na profundidade de 0,00 – 0,20m.

Figura 11. Mapas de Krigagem dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob cultura da soja irrigada.



DMG1 e DMP1 são respectivamente densidade média geométrica e densidade média ponderada na profundidade de 0,00 – 0,20m, DMG2 e DMP2 são respectivamente densidade média geométrica e densidade média ponderada na profundidade de 0,20 – 0,40m, ARG1 e SIL1 são respectivamente argila e silte na profundidade de 0,00 – 0,20m.

Analisando os mapas de krigagem, nitidamente podemos perceber que há uma associação entre DMG e DMP, em ambas as profundidades. O comportamento dos dois atributos foi bastante parecido. Como já foi descrito, os valores de DMG e DMP são mais altos na profundidade de 0,00 – 0,20m do que 0,20 – 0,40m. Na camada mais superficial os valores também variaram mais, deixando o mapa mais colorido, mas a cor predominante foi o verde. Em DMG1 houve um predomínio de agregados com diâmetro maiores que 3,39mm (verde claro e verde escuro), já DMG1 predominaram agregados maiores que 4,15mm (verde claro e verde escuro). Em ambos os mapas as regiões Noroeste, Centro-Oeste e Sudeste foram as que obtiveram os maiores valores,

consequentemente seriam as mais estáveis em termos de agregação do solo, a região Nordeste, foi a que apresentou maior concentração de menores diâmetros, consequentemente menor estabilidade dos agregados.

Na segunda profundidade amostral, camada de 0,20 – 0,40m, o comportamento dos atributos DMG e DMP seguiu quase o mesmo padrão da camada superior. Não houve tanta variação de cores quanto nos primeiros mapas e o predomínio ficou com agregados de diâmetro menores, o que também já foi comprovado nesse trabalho. Em DMG2 houve predomínio de agregados com diâmetro menores que 1,66mm (azul claro), já em DMG2, apesar de ter mais variação, houve predomínio de agregados menores que 2,41mm (azul claro). A região Noroeste do mapa foi a que apresentou maiores diâmetros, tanto em DMG2 quanto em DMP2, as regiões Sul, Centro-Leste e Leste do mapa ficaram com as maiores concentrações de menores diâmetros, em ambos atributos.

O mapa de krigagem da concentração de argila na camada de 0,00 – 0,20m, ARG1, foi bastante heterogêneo, com o predomínio da cor azul, demonstrando que na maior parte do mapa a concentração de argila foi maior que 46,2% (462 g kg⁻¹). A região que apresentou maior concentração de argila foi a Noroeste, evidenciando mais uma vez que há relação da porcentagem de argila presente no solo com o DMG e DMP, a região Centro-Norte também merece destaque, deixando as regiões Centro-Leste, Leste e Sudeste com as menores porcentagens dentro do mapa.

O último mapa de krigagem analisado foi o de silte na camada 0,00 – 0,20m, SIL1. Houve predomínio das cores azul escuro e verde claro, evidenciando que a maior parte do mapa apresentou concentração superior a 8,9% (89 g kg⁻¹) de silte. As regiões Centro-Sul, Sudoeste e Noroeste ficaram com as maiores concentrações, enquanto Centro-Norte e Nordeste ficaram com as menores.

4. CONCLUSÕES

1. O alcance dos agregados do solo variou de 15,2 a 38,7 metros;
2. O teor de areia é inversamente proporcional à DMG e DMP em ambas as profundidades;
3. DMP e DMG apresentaram uma estreita relação entre eles em ambas profundidades;
4. A camada superficial apresentou maiores diâmetros devido a ação da matéria orgânica;
5. O sistema plantio direto promoveu o aumento no tamanho dos diâmetros dos agregados do solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, R. C. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto, 2001.
- BASTOS, R. S. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n. 1, pp. 21-31, 2005.
- BONINI, C. D. S. B.; & ALVES, M. C. Estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho degradado em recuperação com adubos verdes, calcário e gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1263-1270, 2011.
- CALEGARI, A.; de CASTRO FILHO, C.; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R., de FÁTIMA GUIMARÃES, M. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Ciências Agrárias**, v.27, n.2, p.147-157, 2006.
- CAMPBELL, G. S.; CAMPBELL, M. D.; HILLEL, D. Irrigation scheduling using soil moisture measurements: theory and practice. **Advances in irrigation**, v.1, p.25-42, 1982.
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, n.1, p.99-105, 1990.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.527-538, 1998.
- CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.203-209, 2002.
- DA SILVA, I.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.1, p.113-117, 1997.
- DE CARVALHO, A. P. Definições provisórias de 5º e 6º níveis categóricos. **Embrapa Semiárido**, Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E), 2006.
- DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and tillage research**, v.11, n.3-4, p.199-238, 1988.

EDWARDS, A. P.; BREMNER, J. M. Microaggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.18, n.1, p.64-73, 1967.

FRAISSE, C. W. Use of unsupervised clustering algorithms for delineating within-field management zones. **American Society of Agricultural Engineers**, 1999.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, M. R. **Applied geostatistics**. 1989.

JIPP, P. H.; NEPSTAD, D. C., CASSEL, D. K.; CARVALHO. Armazenamento de umidade do solo profundo e transpiração em florestas e pastagens da Amazônia sazonalmente seca. **Impactos potenciais das mudanças climáticas nos ecossistemas de florestas tropicais**, p.255-272, 1998.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. **Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods**, v.5, p.425-442, 1986.

MADARI, B. E. Procedimento para uma estimativa compartimentada do sequestro de carbono no solo. **Technical Communication Embrapa**, n.22, 2004.

MENEZES, L. A. S.; MOZENA LEANDRO, W. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, n.3, p.173-180, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos Goiânia, Brasil. 2004.

MOLIN, J. P.; DO AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. Agricultura de precisão: estudos de uma tecnologia favorável, na suscitação de melhoras na qualidade de técnicas empregadas no campo. **Oficina de textos**, 2015.

MONTANARI, R. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.6, p.1811-1822, 2010.

MONTANARI, R. 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, n.2, p.385-396, 2015.

MULLA, DJ Mapeamento e manejo de padrões espaciais na fertilidade do solo e produtividade agrícola. Procedimentos de Manejo de Culturas Específicas do Solo: Um Workshop sobre Pesquisa e Problemas de Desenvolvimento. Madison, WI, EUA: **Sociedade**

Americana de Agronomia, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, p.15-26, 1993.

MUZILLI, O. Comportamento e possibilidades da cultura do milho em plantio direto no estado do Paraná, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, p.41-47, 1983.

OLIVEIRA, G. C. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p.327-336, 2004.

OLIVEIRA, T. S. D.; COSTA, L. M. D.; FIGUEIREDO, M. S.; & REGAZZI, A. J. Efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem sobre o diâmetro médio geométrico e o diâmetro médio ponderado de quatro latossolos Brasileiros. Viçosa, MG, 1995.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos, 2002.

ROTH, K. Transport of chloride through an unsaturated field soil. **Water Resources Research**, v.27, n.10, p.2533-2541, 1991.

SANTOS, M. L. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*Zea mays L.*) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.28, n.3, p.313-321, 2006.

SOUZA, Z. M.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.39, n.5, p.491- 499, 2004.

SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**, Rio de Janeiro, RJ, v.3, 2013.

TOREES, J. L. R. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2015, v.39, n.2, p.428-437, 2015.

VAN RAIJ, B. Os métodos de análise química do sistema IAC de análise de solo no contexto nacional. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais, **Instituto Agronômico de Campinas**, IAC, Campinas, SP, p.5-39, 2001.

WENDLING, B. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5, p.487-494, 2005.