

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

LENON HENRIQUE LOVERA

**ATRIBUTOS DO SOLO E COMPONENTES PRODUTIVOS DA SOJA: UMA
ABORDAGEM LINEAR, MULTIVARIADA E GEOESTATÍSTICA**

Ilha Solteira

2015

LENON HENRIQUE LOVERA

Atributos Do Solo E Componentes Produtivos Da Soja: Uma Abordagem Linear, Multivariada E Geoestatística

Prof. Dr. Rafael Montanari

Orientador

Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso

Co-Orientador

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira,
para obtenção do título de Mestre em
Agronomia.

Especialidade: Sistemas de produção.

Ilha Solteira

2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- L911a| Lovera, Lenon Henrique.
Atributos do solo e componentes produtivos da soja: uma abordagem linear, multivariada e geoestatística / Lenon Henrique Lovera. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2015
73 f. : il.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistema de Produção, 2015
- Orientador: Rafael Montanari
Co-orientador: Alan Rodrigo Panosso
Inclui bibliografia
1. Agricultura de precisão. 2. Manejo do solo. 3. Atributos do solo.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Atributos do solo e componentes produtivos da soja: uma abordagem linear, multivariada e geoestatística

AUTOR: LENON HENRIQUE LOVERA

ORIENTADOR: Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. ALAN RODRIGO PANOSSO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA ,
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RAFAEL MONTANARI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA

Departamento de Água e Solo / Universidade Estadual de Campinas

Data da realização: 23 de julho de 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre está em meu lado nessa longa jornada, onde tem me dado sabedoria e forças para superar as dificuldades.

Agradeço aos meus pais, que sempre primaram pela minha educação. Obrigado Sr Maury Luiz Lovera e Sra. Vanda Grecco Lovera, além de me oferecerem a oportunidade de estudarem, sempre estiveram presentes nos momentos importantes e sou muito Feliz por isso.

Ao meu orientador e amigo, Rafael Montanari, que sempre esteve fazendo as suas cobranças, auxiliando, pois sem você não conseguiria realizar este projeto, além da grande satisfação de tê-lo como orientador. Muito Obrigado!

Ao Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso, pela disponibilidade de matérias essenciais para a coleta e análise de dados, além da sua ajuda, apoio e incentivo.

Aos amigos, em especial Daniel Noé, Elizabete Rocha, Tiago Calves, Valéria Modenese, Cristhy Willy, Elizeu de Souza Lima, Rosemary Pereira, Adrianly Corrêa e Anderson Secco por fazerem parte deste trabalho.

A educação tem raízes amargas, mas os seus frutos são doces.

Aristóteles

RESUMO

O estudo dos atributos do solo e da planta utilizando a geoestatística, e a consequente geração de mapas de krigagem, resultam na utilização racional de fertilizantes e, assim na redução de custos para o produtor. No ano agrícola de 2013/2014, no município de Selvíria (MS), objetivou-se avaliar a dependência espacial e a análise multivariada dos atributos físicos, químicos, teores de nutrientes foliares e macrofauna de um Latossolo Vermelho distroférico em duas profundidades, com os componentes da produção e produtividade de grãos cultivada em sistema plantio direto. Foi instalada uma malha amostral, para a coleta de dados do solo, planta e macrofauna, com 100 pontos amostrais distribuídos aleatoriamente, em uma área de 7980 m². As maiores variabilidades dos atributos analisadas pelo coeficiente de variação ocorreram na camada de 0,00-0,10 m do solo. Alguns dos atributos pesquisados apresentaram dependência espacial, sendo possível mapear a área em estudo. Os valores dos alcances geoestatísticos recomendados para os atributos pesquisados deverão estar compreendidos entre 9,9 e 91,8 m. Espacialmente falando, a produtividade de grãos da soja pôde ser estimada por meio da co-krigagem com o valor do DS2, DMG, DMP do solo e fósforo foliar. Assim, valores baixos e altos destes atributos indicaram sítios com as maiores ou menores produtividades de grãos e soja. A análise multivariada permitiu que apenas alguns atributos se destacassem como componentes principais, sendo considerados os mais importantes para o manejo do solo dessa área.

Palavras-chave: Agricultura de precisão. Manejo do solo. Atributos do solo.

ABSTRACT

The study of soil properties and plant using geostatistics, and the subsequent generation of kriging maps result in the rational use of fertilizers and thus to reduce costs for producers. In the agricultural year 2013/2014, in Selvíria (MS) aimed to evaluate the spatial dependency and multivariate analysis of physical, chemical attributes, foliar nutrient content and macrofauna of Oxisol in two depths, with yield components and grain yield grown in no-till system. A sampling grid was installed to collect soil data, plant and macrofauna, with 100 sampling points distributed random, in an area of 7980 m². The greatest variability of the attributes analyzed by the coefficient of variation occurred at a depth of 0.00 to 0.10 m above the ground. Some of the attributes studied presented spatial dependence, it is possible to map the area under study. The values of geostatistical ranges recommended for the surveyed attributes should be between 9,9 and 91,8 m. Spatially speaking, the productivity of the soybeans could be estimated by means of co-kriging with the value DS2, DMG, DMP soil and foliar phosphorus. So, low and high values of these attributes indicate sites with higher or lower yields of grain and soybeans. Multivariate analysis has allowed only a few attributes to stand out as main components, being considered the most important for soil management in this area.

Keywords: Precision agriculture. Soil management. Soil properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Climograma da precipitação pluvial e temperatura do ar (mínima, máxima e média) durante o período de novembro/2013 a março de 2014.....	22
Figura 2 - Esquema da malha experimental de campo localizado na Fazenda de Ensino, pesquisa e extensão (FEIS/UNESP).	25
Figura 3 - Equações de regressão entre atributos da cultura da soja, macrofauna e atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).	42
Figura 4 - Mapas de krigagem dos atributos PG, NVP, MCG da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS) sob sistema plantio direto	49
Figura 5 - Mapas de krigagem dos atributos Argila ₂ , Silte ₂ , DMG, DMP, MO ₁ e MO ₂ de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS) sob plantio direto.	50
Figura 6 - Mapas de krigagem dos atributos pH ₁ , pH ₂ , K ₁ , V% ₂ , Nf, Pf, Kf e Coleo de Selvíria (MS) sob plantio direto	51
Figura 7 - Semivariograma cruzado e mapa de cokrigagem da produtividade da soja (PG) em função da densidade solo (DS) na camada de 0,10-0,20 m de em um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).....	53
Figura 8 - Semivariograma cruzado e mapa de cokrigagem da produtividade da soja (PG) em função do diâmetro médio geométrico de agregados (DMG) em um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).....	54
Figura 9 - Semivariograma cruzado e mapa de cokrigagem da produtividade da soja (PG) em função diâmetro médio ponderado (DMP) em um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).....	55
Figura 10 - Semivariograma cruzado e mapa de cokrigagem da produtividade da soja (PG) em função do teor de fósforo foliar (Pf) em um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).....	56

Figura 11 - Distribuição espacial dos grupos gerados do NGV e teores de nutrientes foliares da soja e de atributos físicos, químicos e macrofauna de um Latossolo Distroférrico	58
Figura 12 - Dispersão (<i>gráfico biplot</i>) dos caracteres do NGV e teores de nutrientes foliares da soja e de atributos físicos, químicos e macrofauna de um Latossolo Distroférrico	59
Figura 13 - Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo o componente produtivo da soja e atributos físicos, químicos, teores foliares e macrofauna	61
Figura 14 - Médias padronizadas do Componente de produção da soja (NGV) e do NGV, RP1, DP1, Argila1, MO1, V1, Kf, Hyme, Gastro e Hemi para cada grupo, segundo análise de agrupamentos não-hierárquica k-means	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise inicial de alguns atributos físicos do solo estudado	23
Tabela 2 - Análise inicial de alguns atributos químicos para fins de fertilidade do solo estudado	23
Tabela 3 - Estatística descritiva dos componentes de produção e produtividade da soja e atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m	32
Tabela 4 - Estatística descritiva dos atributos químicos do solo, teores de nutrientes foliares na soja e a macrofauna da área experimental	35
Tabela 5 - Matriz de correlação linear simples entre componentes de produção, produtividade e teores de nutrientes foliares da soja e atributos físicos, químicos e macrofauna de um Latossolo Vermelho Distroférico	41
Tabela 6 - Equações e coeficientes da regressão entre atributos da produtividade da soja e um Latossolo Vermelho Distroférico sob plantio direto.	42
Tabela 7 - Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para os componentes de produção e produtividade da soja e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico	45
Tabela 8 - Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para atributos químicos, teores de nutrientes foliares da soja e macrofauna de um Latossolo Vermelho Distroférico	46
Tabela 9 - Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados para produtividade da soja em função de teores foliares de P e atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico	52
Tabela 10 - Resumo dos componentes principais (CP1 e CP2) da análise multivariada do componente da produção de soja (NGV), alguns atributos físicos e químicos (RP1, DP1, Argila1, MO1 e V1) do solo, teor foliar de K e macrofauna (Hyme, Gastro e Hemi) de um Latossolo Distroférico	57

Tabela 11 - Médias do atributo de planta (NGV), solo (RP1, DP1, Argila1, MO1 e V1), teor foliar (Kf) e macrofauna (Hyme, Gastro e Hemi) dos grupos formados pela análise não-hierárquica de agrupamentos k-means	60
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	SOLOS DO CERRADO	15
2.2	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA SOJA	16
2.3	A GEOESTATÍSTICA COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE	17
2.4	VARIABILIDADE ESPACIAL APLICADA À CULTURA DA SOJA E AOS SOLOS	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ORIGEM DOS DADOS	22
3.2	CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO SOLO ESTUDADO	22
3.3	IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DA CULTURA DA SOJA	24
3.4	IMPLANTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MALHA EXPERIMENTAL DE CAMPO	24
3.5	COLETA E METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS	24
3.5.1	Atributos do solo	24
3.5.2	Atributos da planta	27
3.5.3	Macrofauna	28
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS	28
3.7	ANÁLISE MULTIVARIADA DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS	31
4.1.1	Variabilidade dos atributos	31
4.1.1.1	<i>Atributos da planta</i>	31
4.1.1.2	<i>Atributos do solo, teores foliares de nutrientes da soja e macrofauna</i>	31
4.1.2	Distribuição de frequência dos atributos	36
4.1.2.1	<i>Atributos da planta</i>	36
4.1.2.2	<i>Atributos do solo, teores foliares de nutrientes da soja e macrofauna</i>	36
4.1.3	Valores médios dos atributos estudados	37
4.1.3.1	<i>Atributos da planta</i>	37
4.1.3.2	<i>Atributos do solo, teores foliares de nutrientes da soja e macrofauna</i>	38
4.2	ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE OS ATRIBUTOS	40
4.2.1	Regressão linear simples	40
4.2.1.1	<i>Atributos da planta versus atributos de solo</i>	40
4.2.1.2	<i>Atributos da planta versus teor de nutrientes foliares</i>	40
4.2.1.3	<i>Atributos da planta versus macrofauna</i>	40
4.2.2	Regressão linear simples entre os atributos	41
4.3	ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS ESTUDADOS	43
4.3.1	Análise semivariográfica simples	43
4.3.1.1	<i>Ajuste dos semivariogramas simples e validação cruzada ajustada dos atributos</i>	43

4.3.1.2	<i>Mapas de krigagem dos atributos estudados</i>	47
4.3.2	Análise semivariográfica cruzada	52
4.3.2.1	<i>Ajuste dos semivariogramas cruzados e mapas de co-krigagem dos atributos</i>	52
4.4	ANÁLISE MULTIVARIADA DOS DADOS	57
5	CONCLUSÕES	63
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a cultura da soja vem sendo uma das atividades agrícolas que expressa os maiores crescimentos em termos de produção e área cultivada, tornando-se de grande importância para a economia mundial. Alguns fatores como, a grande demanda da soja pelo mercado internacional, a consolidação desta cultura como importante fonte de proteína e o grande desenvolvimento de tecnologias, intensificaram a expansão agrícola da mesma no Brasil (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA, 2011).

Dentro desse vasto mercado de oferta e demanda da soja, o Brasil é um dos maiores produtores, ficando atrás somente dos EUA. Na safra 2014/2015, por exemplo, a cultura ocupou uma área de 31,57 milhões de hectares, com uma produção de aproximadamente 95 milhões de toneladas e uma produtividade média de 3.011 kg por hectare (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB, 2015). Devido à grande importância da soja na economia brasileira, as buscas por práticas que procuram otimizar a produção desta cultura, são cada vez mais necessárias. Dentre os quais, alguns aspectos que são fundamentais para o sucesso na produção, são o melhoramento, manutenção e gerenciamento da qualidade do solo, servindo para diminuir perdas e custos, elevar a produtividade e aumentar a qualidade dos produtos (MONTANARI et al., 2012).

Sabe-se que a qualidade do solo é fortemente influenciada pelos seus atributos físicos, químicos e biológicos. Desta forma, estudos que buscam o esclarecimento sobre as relações desses atributos com os componentes produtivos da cultura são de fundamental importância no momento da tomada de decisão quanto às práticas de manejo da soja (MONTANARI et al., 2015). Estes atributos do solo são indicadores da qualidade, utilizados para quantificar a sua degradação, modificações na estrutura, porosidade, agregação e densidade do solo, bem como na infiltração e disponibilidade de água, fornecendo informações para o manejo de um sistema de produção (REYNOLDS et al., 2008).

Os atributos do solo apresentam dependência espacial, ou seja, os valores de uma variável são autocorrelacionados no campo. Nesse contexto, são necessárias técnicas que incorporam as coordenadas geográficas dos pontos estudados na análise. Portanto, o uso da geoestatística pode indicar alternativas de manejo que propiciem a minimização do efeito da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo sobre os cultivos, sendo uma ferramenta útil para analisar as variáveis dependentes,

proporcionando a confecção de mapas de krigagem para cada atributo pesquisado (DALCHIAVON et al., 2011; PELLIN et al., 2015).

Com o emprego das técnicas multivariadas é possível descrever a similaridade (análise de agrupamentos) em sistema de cultivo, como descrever as variáveis químicas do solo que explicam a maior variabilidade possível em um conjunto de dados (componentes principais) (CORTEZ et al., 2011). Entretanto, essa técnica permite dividir um conjunto original de dados em vários grupos, segundo critérios de similaridade ou dissimilaridade, sendo que o dendrograma, componente da análise de agrupamento, é um diagrama que apresenta a subdivisão dos grupos formados e busca a máxima homogeneidade entre os indivíduos no grupo e máxima heterogeneidade entre os grupos (MARTEL et al., 2003).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar a dependência espacial e a técnica multivariada dos atributos físicos, químicos do solo, teores de nutrientes foliares e macrofauna de um Latossolo Vermelho distroférico em duas profundidades, com os componentes da produção e produtividade de grãos cultivada em sistema plantio direto na região de Selvíria (MS).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SOLOS DO CERRADO

Os processos de urbanização e industrialização brasileira ocorreram de forma descontrolada e sem considerar os aspectos de conservação do ambiente, resultando em cidades com infraestrutura deficiente e com baixa disponibilidade de serviços urbanos capazes de comportar a população. Dessa maneira, é necessária a conservação do meio, incentivando atividades que resultem em ganhos ambientais e aumento da produtividade agrícola, para a qual uma das opções é a expansão da agricultura no cerrado Brasileiro (FERNANDES; MURAOKA, 2002; ARRUDA, 2012).

Os solos do cerrado Brasileiro são altamente intemperizados, com baixa fertilidade natural, elevada acidez, alta saturação por alumínio e baixa capacidade de troca de cátions. Nesse ecossistema, o crescimento das raízes é reduzido pela presença de alumínio tóxico, sendo igualmente afetado pela deficiência de cálcio. Assim, há diminuição da absorção nutricional e de água, gerando inevitavelmente elevada taxa de erosão de forma a repercutir na queda da produtividade agrícola (CARVALHO et al., 2004; FRAZÃO et al., 2008).

De acordo com Canellas et al. (2007), mudanças no ambiente decorrentes de inadequadas práticas agrícolas de manejo podem levar ao rápido declínio do estoque de matéria orgânica do solo (MOS). No entanto, sua manutenção é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas de produção. No cerrado Brasileiro, como nas demais regiões tropicais, a mineralização da matéria orgânica é bastante rápida, pelas extremas condições de temperatura e de umidade do solo durante boa parte do ano (CARVALHO et al., 2004).

A disponibilidade de nutrientes é questão de ser avaliada, principalmente em relação ao ponto de vista que a classifica. Os solos do cerrado são considerados pobres nutricionalmente quando comparados aos solos de outros ecossistemas brasileiros em relação aos requerimentos nutricionais das plantas, mas não o são em relação à vegetação nativa, que parece estar muito bem adaptada à disponibilidade natural de nutrientes, pois requerem menores quantidades em relação aos menos abundantes, o que pode ser uma vantagem competitiva em relação aos atributos químicos normalmente observadas nos solos do cerrado (HARIDASAN, 2005).

2.2 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é cultivada mundialmente, sua evolução começou com o aparecimento de plantas oriundas de cruzamentos naturais, entre espécies de soja selvagem, que foram domesticadas e melhoradas por cientistas da antiga China, sendo diferente dos ancestrais que lhe deram origem. Sua importância na dieta alimentar da antiga civilização chinesa era tal, que a soja, juntamente com o trigo, o arroz, o centeio e o milheto, era considerada um grão sagrado, com direito a cerimoniais ritualísticos na época da semeadura e da colheita (EMBRAPA, 2015).

Apesar de conhecida e explorada no Oriente há mais de cinco mil anos, o Ocidente ignorou o seu cultivo até a segunda década do século vinte, quando os Estados Unidos (EUA) iniciaram sua exploração comercial (primeiro como forrageira e, posteriormente, como grão). Em 1940, no auge do seu cultivo como forrageira, foram cultivados, nesse país, cerca de dois milhões de hectares com tal propósito (EMBRAPA, 2015).

Em 2015/2016, o Brasil figurava como o segundo produtor mundial, responsável 97 milhões de toneladas produzidas em nível global. Atualmente, produzir mais em uma menor porção de área é sinônimo de sustentabilidade, e essa é a meta do empresário rural que almeja competitividade no mercado. Nos últimos 35 anos a produtividade agrícola no Brasil cresceu mais de 250% utilizando menos de 40% de aumento de área, o que tornou o país uma das maiores potências mundiais do agronegócio, com destaque para a cultura da soja, que tem alcançado uma porção cada vez maior das exportações brasileiras (EMBRAPA, 2015).

O crescimento da área cultivada com soja no estado do Mato Grosso do Sul pode ser analisado por meio de dados da Conab (2015), que apontam um aumento de 494 mil ha em 1977 para 2120 mil ha em 2014 e, previsão de 2300 mil ha para a safra 2014/15, sendo o crescimento em torno de 8,5 % em relação à safra anterior. Quanto à produtividade média, os dados surpreendem: na safra 1976/77, o Brasil produziu em média 1.748 kg ha de soja, sendo as únicas regiões produtoras o Centro Oeste, o Sudeste e o Sul. Vale acrescentar que o Mato Grosso do Sul só figurou na lista de estados produtores na safra seguinte, com uma produtividade média de 955 kg ha⁻¹. Entretanto, com a expansão da agricultura e os avanços tecnológicos, na safra 2014/2015 a produtividade média brasileira passou para 3,011 kg ha⁻¹, sendo que todas as regiões do país hoje fazem parte da lista de produtores em potencial, e o Mato Grosso do Sul produzindo em média 3,060 kg ha⁻¹ (CONAB, 2015).

2.3 A GEOESTATÍSTICA COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE

Avanços tecnológicos na agropecuária têm mostrado a importância de se medir a variabilidade espacial e temporal dos atributos que afetam a produtividade das culturas, com o objetivo de otimizar o aproveitamento dos recursos naturais, diminuir os custos e melhorar a qualidade dos solos (MONTANARI et al., 2010). A produtividade das culturas varia espacialmente, e determinar as causas dessas variações é o desafio que enfrenta a Agricultura de Precisão. As variações espaciais podem ser estudadas por meio de técnicas geoestatísticas que permitem elaborar mapas e delimitar áreas de manejo diferenciadas, consagradas atualmente como zonas específicas de manejo (DALCHIAVON et al., 2013).

Representada por toda tentativa de desenvolvimento econômico do meio rural, a agricultura de precisão é apoiada no ótimo da eficiência gerencial que determinadas áreas agrícolas necessitam, de forma aleatória no espaço. Assim, a partir do mapeamento das correlações existentes entre os atributos do solo e a produtividade das culturas, pode-se efetuar a aplicação dos insumos com taxas variadas, de forma a se atender as exigências quantitativas das zonas específicas de manejo. Como exemplo, nas áreas de menores produtividades agrícolas, normalmente associadas aos baixos níveis de fertilidade do solo, ou com problemas nos atributos físicos e/ou biológicos, seriam destinadas as maiores taxas de fertilizantes, sendo o inverso perfeitamente válido (VETTORAZZI; FERRAZ, 2000).

A partir do georreferenciamento, da maioria das informações necessárias, podem ser editados mapas digitais para todas as zonas específicas de manejo, isolada ou conjuntamente, objetivando a aplicação de manejos em áreas específicas (MONTANARI et al., 2012).

A análise geoestatística é a ferramenta para avaliar a variabilidade espacial dos atributos estudados, por meio da interpolação por krigagem, ou a partir de estimativas de duas variáveis que se correlacionem pela cokrigagem. São descritas como técnicas que minimizam a variância estimada por meio de análise de regressão, levando-se em conta a dependência entre os dados distribuídos no espaço (ANDREOTTI et al., 2010). Dessa forma, as interpolações por krigagem, e por cokrigagem, estão fortemente associadas aos modelos de semivariogramas ajustados, que podem ser avaliados por meio da validação cruzada (DALCHIAVON et al., 2013).

2.4 VARIABILIDADE ESPACIAL APLICADA À CULTURA DA SOJA E AOS SOLOS

No geral, o solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta atributos físicos, tais como a permeabilidade, estrutura, densidade global e a porosidade, de forma adequada ao desenvolvimento das plantas. Nessas condições, o seu volume explorado pelas raízes é relativamente grande. À medida que ele vai sendo submetido ao uso agrícola, seus atributos, sobretudo os físicos, sofrem alterações geralmente desfavoráveis ao vegetal (ANDREOLA et al., 2000).

Vários trabalhos têm demonstrado que o tipo de exploração agrícola afeta peculiarmente alguns atributos físicos do solo (ANDREOTTI et al., 2010; MONTANARI et al., 2010). Tem sido empregado que a rotação de culturas, estabelecida no sistema plantio direto, incluindo espécies com sistema radicular agressivo e com diferentes quantidades de fitomassa, pode alterar os atributos físicos do solo, melhorando desta forma, a produtividade das culturas (ALBUQUERQUE et al., 1995).

Por outro lado, atributos tais como a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e a densidade do solo, têm sido utilizados para indicar restrições ao desenvolvimento das plantas. Assim, Unger e Kaspar (1994) destacaram que a compactação do solo reduz o crescimento vegetal, principalmente quando o suprimento de água e nutrientes é insuficiente, fato verificado quando as raízes se desenvolvem abundantemente sobre as camadas compactadas.

A vegetação natural dos cerrados brasileiros vem gradativamente sendo substituída por culturas anuais, pastagens e reflorestamentos. Os solos deste ecossistema nativo normalmente revelam satisfatórios atributos físicos do ponto de vista agrícola. Entretanto, a partir do momento em que são intensamente utilizados à produção agrícola, sofrem substanciais alterações. De modo geral, verificam-se aumentos da densidade do solo, da resistência do solo à penetração e da microporosidade e diminuições da porosidade total e da macroporosidade (LIMA et al., 2007).

A redução do teor de água do solo proporciona aumento da resistência do solo à penetração, decorrente da maior coesão entre as partículas sólidas (SANTOS et al., 2010). Souza et al. (2001) constataram valores de resistência do solo à penetração do solo entre 2,21 e 2,57 MPa, referentes à umidade de 0,17 kg kg⁻¹ nas profundidades entre 0,00 – 0,05 m e 0,15 – 0,20 m respectivamente, estudando a variabilidade espacial dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico estabelecido com a cultura do

feijoeiro. Freddi et al. (2005), estudando os sistemas de preparo convencional e o plantio direto para a cultura do feijoeiro, encontraram valores de resistência do solo à penetração de 2,18 MPa para a profundidade de 0,00 – 0,10 m e de 4,26 MPa para a de 0,10 – 0,20 m no sistema convencional, assim como de 6,74 MPa para a profundidade de zero – 0,10 m e 8,27 MPa para a de 0,10 – 0,20 m no plantio direto.

O estudo da variabilidade espacial dos nutrientes no solo é uma fase importante para o estabelecimento da agricultura de precisão. Nesta etapa, a utilização dos semivariogramas permite planejar desenhos ótimos de amostragem do solo, no intuito de capturar a variabilidade em escalas espaciais. A variabilidade espacial dos nutrientes pode não ser igual entre si, ou seja, alguns nutrientes necessitam de números maiores de amostras que outros, para que se possa conhecer seus comportamentos em relação a uma determinada área. Uma maneira de solucionar estes problemas seria a adoção de métodos geoestatísticos para avaliar a variabilidade espacial da fertilidade do solo (DEUTSCH; JOURNEL, 1998).

A variabilidade do solo é consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação, sendo influenciada pelas práticas de manejo e pelas culturas. Áreas pedologicamente similares podem apresentar diferença na variabilidade quando submetidas à diferentes práticas de manejo. E áreas pedologicamente diferentes, quando submetidas ao mesmo manejo, podem apresentar atributos semelhantes (CORÁ et al., 2004).

A variabilidade espacial dos índices de fertilidade do solo aumenta com a adoção do sistema plantio direto, quer no sentido horizontal, pela distribuição irregular na superfície do solo (COUTO, 1997), quer ainda no sentido vertical, pelas diferenças nos teores de uma camada mais superficial em relação à outra mais abaixo (AMARAL; ANGHINONI, 2001). Neste sistema, os resíduos dos vegetais promovem alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, causando alterações no movimento e na redistribuição de compostos mais solúveis. As frequentes adubações e calagens em superfície tendem a formar um gradiente de concentração superficial (ELTZ et al., 1989), causando variabilidade dos índices de pH do solo e dos teores de nutrientes. A matéria orgânica do solo também tem sido amplamente citada como um indicador-chave da qualidade do solo em áreas agrícolas, pois exerce um papel fundamental no solo, agindo em sua estrutura pelo fornecimento de substâncias agregantes, no suprimento de macro e de micronutrientes, na capacidade de troca catiônica e no tamponamento do pH (ZANÃO JÚNIOR et al., 2007).

A adoção do sistema plantio direto vem expandindo-se por toda a região central do Brasil, sendo uma alternativa para a substituição do sistema convencional de preparo do solo, podendo contribuir para a sustentabilidade de sistemas agrícolas intensivos. Souza (1992) pressupôs que o plantio direto apresentasse maior variabilidade nos teores de matéria orgânica e de nutrientes no perfil do solo do que o sistema convencional, principalmente em decorrência do não-revolvimento da camada superficial do solo, e solos com uso do cultivo mínimo e do plantio direto podem, ao longo do tempo, ter seus teores de matéria orgânica aumentados.

Estudando a variabilidade espacial do teor de matéria orgânica nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0-0,20 m, em um Latossolo Vermelho sob sistema plantio direto (SPD), Zanão Júnior et al. (2007) encontraram valores médios de 3,67; 3,38; 3,58 (dag kg⁻¹) mostrando baixa variação na área amostrada. Falleiro et al. (2003) verificaram que o SPD promoveu aumento dos teores de matéria orgânica e consequentemente dos teores de nutrientes das camadas superficiais dos solos.

O manejo convencional da fertilidade do solo baseia-se na utilização de teores médios de referência dos nutrientes para o cálculo da dose de fertilizante a ser aplicada em glebas selecionadas e separadas por serem as mais homogêneas entre si. Apesar dessa preocupação, é comum a ocorrência de valores extremos de alguns elementos químicos localizados espacialmente, sobretudo daqueles de menor mobilidade no solo, de modo que a utilização de valores médios pode resultar na aplicação de doses superestimadas em determinadas áreas e insuficientes em outras (VIEIRA et al. 2010).

Essas variações nos teores de nutrientes no solo normalmente resultam em “manchas de fertilidade”, que podem conduzir a um estado de nutrição diferenciado nas plantas, incrementando a variação na produção, tendo em vista a relação entre teor de nutrientes no tecido vegetal e o crescimento e desenvolvimento da planta (BERNARDI et al., 2002).

Uma das opções de manejo utilizadas para minimizar os efeitos da variabilidade na produtividade das culturas é a agricultura de precisão, que representa um conjunto de técnicas e procedimentos utilizados para que os sistemas de produção agrícola sejam otimizados, tendo como objetivo principal o gerenciamento da variabilidade espacial (MOLIN, 2000). Para isso, na agricultura de precisão é importante a caracterização e a descrição da variabilidade espacial dos atributos do solo, teores foliares de nutrientes e da produtividade das culturas, visando à correlação desses dados para auxiliar o manejo

da adubação, sobretudo no que se refere à aplicação localizada e em taxas variáveis de fertilizantes.

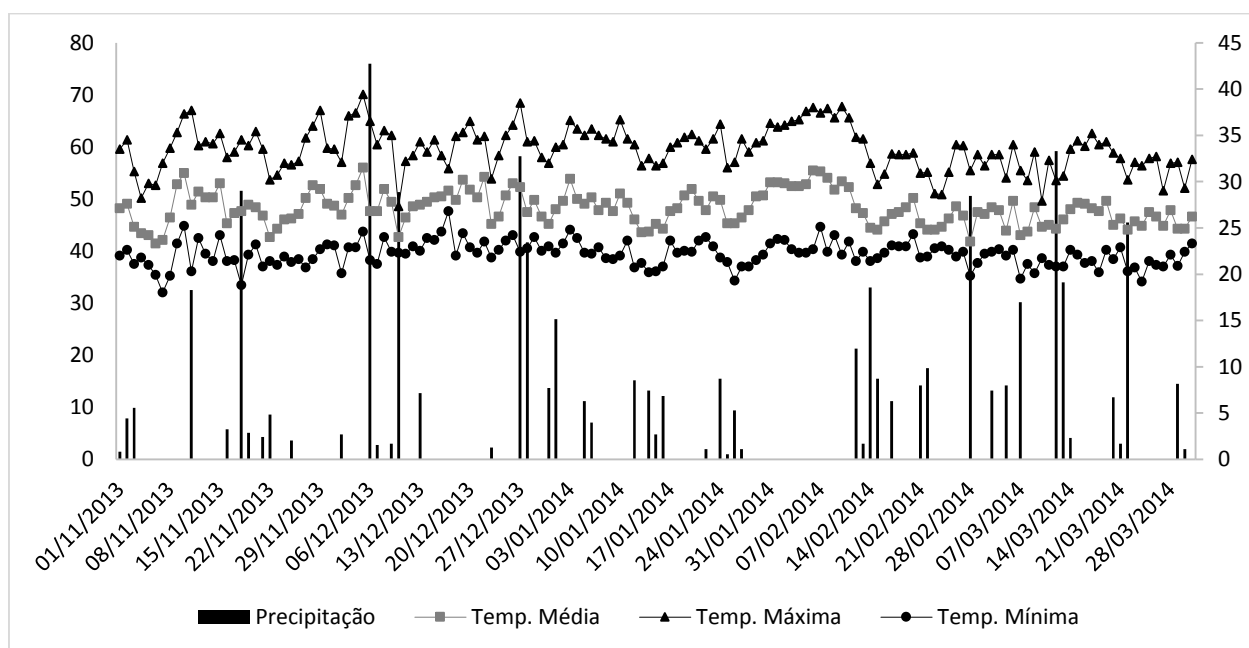
Na caracterização dessa variabilidade, a geoestatística tem sido relatada como uma ferramenta eficiente, possibilitando a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade obtida nos semivariogramas (VIEIRA et al., 2010). A análise geoestatística permite conhecer a variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes, e seu emprego fornece informações importantes quanto ao planejamento e manejo das áreas cultivadas (RESENDE et al., 2005). Apesar da importância da descrição espacial do conteúdo foliar de nutrientes como ferramenta para caracterizar a fertilidade do solo por meio de cálculos geoestatísticos, poucos estudos foram conduzidos nesse sentido, principalmente ao longo do tempo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ORIGEM DOS DADOS

O trabalho foi conduzido na área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e extensão – Setor de Produção Vegetal, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP), no ano agrícola 2013/14, localizada no município de Selvíria (MS), na latitude 20°22'S e na longitude 51°22'W. A precipitação média anual é de 1.300 mm, enquanto que a temperatura média é de 23,7 °C. O tipo climático é Aw, segundo Köppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo no qual a malha experimental foi instalada é um Latossolo Vermelho Distroférico típico argiloso, A moderado, hipodistrófico, álico, caulínítico, férrico, muito profundo, moderadamente ácido (Typic Acrustox), com declive homogêneo de 0,025 m m⁻¹ (EMBRAPA, 2013). Na Figura 1, estão indicadas as precipitações pluviiais e temperaturas médias durante o período de cultivo.

Figura 1- Climograma da precipitação pluvial e temperatura do ar (mínima, máxima e média) durante o período de novembro/2013 a março de 2014.



Fonte: do próprio autor

3.2 CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO SOLO ESTUDADO

O solo no qual foi estabelecida a pesquisa vinha sendo utilizado com a sucessão das culturas do milho ou soja (verão) e feijão ou milho (inverno) há pelo menos 28 anos.

Nos primeiros 15 anos foi realizado o preparo convencional para condução das culturas mencionadas e, nos últimos 13 anos adotou-se o plantio direto.

Entre junho e julho de 2013, visando à caracterização física e química do solo antes da instalação do experimento, coletaram-se trinta amostras deformadas e indeformadas em duas profundidades (0,00-0,20 m e 0,20-0,40 m), realizadas conforme Stolf (1991), Raij et al. (2001) e EMBRAPA (2011), sendo as amostras simples coletadas de forma aleatória antes da semeadura da cultura da soja. Assim, foram efetuadas as seguintes determinações: a) macroporosidade (MA), b) microporosidade (MI), c) porosidade total (PT), d) densidade no solo (DS), e) resistência do solo à penetração (RP), f) umidade gravimétrica (UG), g) umidade volumétrica (UV), h) capacidade de campo (CC), i) análises químicas de rotina para fins de fertilidade: matéria orgânica (MO), pH, P, K^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $H^{+}+Al^{3+}$, Al^{3+} , soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%), cujos resultados constam na nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1- Análise inicial de alguns atributos físicos do solo estudado.

Profundidade	Atributos físicos									
	Porosidade			DS	Resistência a penetração/umidade			Textura		
	MA	MI	PT		RP	UG	UV	Areia	Silte	Argila
	-----m ³ m ⁻³ -----				MPa	kg kg ⁻¹	m ³ m ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----		
M				kg dm ⁻³						
0 – 0,20	0,056	0,294	0,351	1,757	4,000	0,191	0,335	386	138	475
0,20 – 0,40	0,047	0,286	0,333	1,816	4,843	0,189	0,343	378	128	494

(a) MA = macroporosidade, MI = microporosidade, PT = porosidade total, DS = densidade do solo, RP = resistência à penetração, UG = umidade gravimétrica, UV = umidade volumétrica.

Tabela 2: Análise inicial de alguns atributos químicos para fins de fertilidade do solo estudado.

Profundidade	Atributo químico (a)											
	MO	pH CaCl ₂	Complexo sortivo									
			P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	SB	CTC	V%	m%
			mg dm ⁻³								-----%	
M	g dm ⁻³											
0 – 0,20	19	4,9	15	1,7	15	12	36	3,0	28,7	64,7	44,0	9,0
0,20 – 0,40	17	4,8	15	1,0	15	11	34	4,0	27,0	61,0	44,0	13,0

(a) MO = matéria orgânica, V% = índice de saturação por bases, m% = índice de saturação por alumínio.

3.3 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DA CULTURA DA SOJA

Na área determinada para o estudo, utilizou-se o triturador horizontal de resíduos vegetais com 30 dias antecedendo a semeadura, sem uso qualquer de herbicidas. Em 07/11/2013 foi semeada à soja (*Glycine max* - L. Merrill), cultivar Valiosa RR, cujo cultivo foi realizado segundo as instruções agrícolas para as principais culturas econômicas do estado de São Paulo (FAHL et al., 1998). O espaçamento entre linhas foi de 0,45 m, com uma densidade de 16 plantas por metro na linha de semeadura, totalizando 350.000 plantas por hectare. Na adubação de semeadura foram utilizados 400 kg ha⁻¹ da formulação 8-28-16. Para o tratamento das sementes foi utilizado o fungicida carboxin (300 mL para 120 kg⁻¹ de sementes) e o inoculante líquido (*Rhizobium* sp) contendo 3×10⁹ células por grama de semente. As práticas normais de condução da cultura, tais como o tratamento fitossanitário e o cultivo químico, foram procedidas homogeneamente em toda a área experimental, conforme recomendações de (FAHL et al., 1998).

3.4 IMPLANTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MALHA EXPERIMENTAL DE CAMPO

A malha experimental foi constituída de 10 linhas e 10 colunas, de formato quadrado irregular contendo 100 pontos amostrais, totalizando uma área de 7500 m². A Figura 2 representa o local e o esquema da malha experimental de campo.

3.5 COLETA E METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS

3.5.1 Atributos do solo

Os atributos pesquisados do solo, da planta e macrofauna da área foram todos individualmente coletados no entorno de cada ponto amostral da malha experimental, sendo realizado em 29 e 30 de janeiro de 2014. Os atributos do solo foram: a) resistência do solo à penetração (**RP**), b) umidade gravimétrica (**UG**), c) densidade do solo (**DS**), d) porosidade total (**PT**), e) teor de Areia (**Are**), f) teor de Argila (**Arg**), g) teor de Silte (**Sil**), h) Diâmetro Médio Geométrico de agregados (**DMG**), i) Diâmetro Médio Ponderado de agregados (**DMP**), j) teor de fósforo (**P**), k) matéria orgânica (**MO**), l) valores de potencial hidrogeniônico (**pH**), m) teor de potássio (**K**) e n) saturação por bases (**V%**), nas profundidades de 0,00-0,10 m (C1) e 0,10-0,20 m (C2).

A resistência do solo à penetração (**RP**) foi avaliada com o penetrômetro de impactos e calculada segundo Stolf (1991), de acordo com equação:

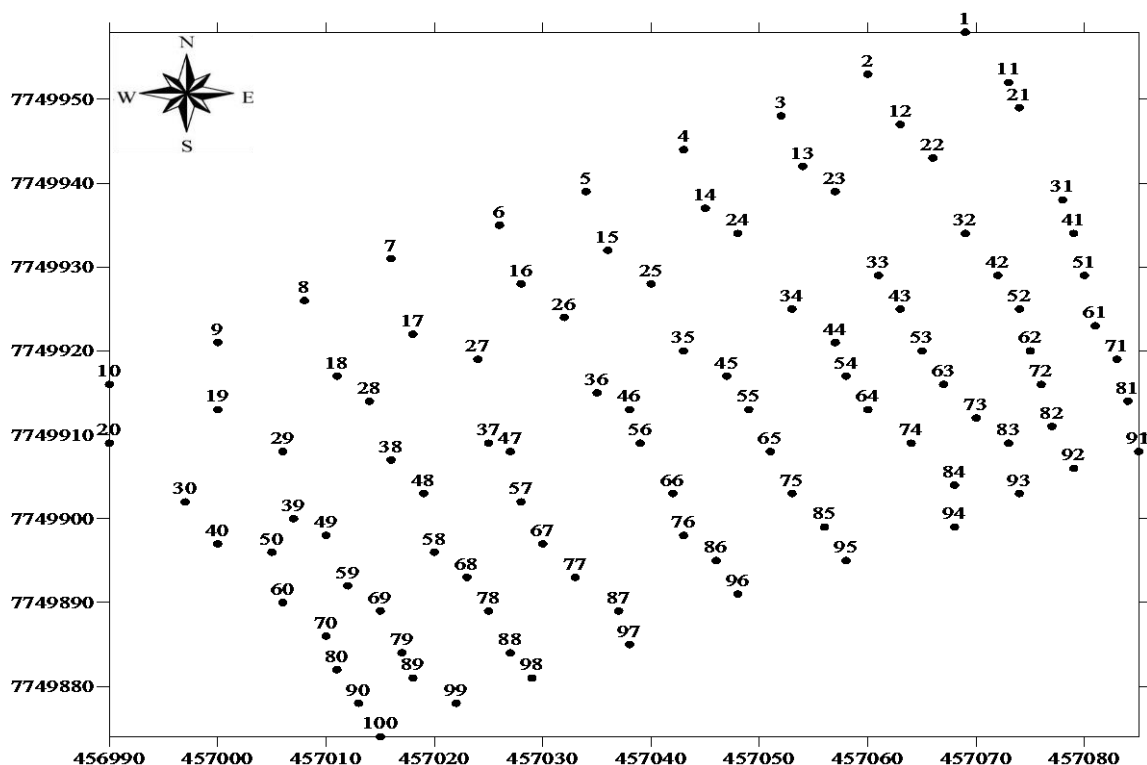
$$RP = \{ \{ 5,581 + 6,891 \cdot \{ [N / (P - A)] \cdot 10 \} \} \cdot 0,0981 \} \quad (3)$$

onde: RP é a resistência do solo à penetração (MPa); N é o número de impactos efetuados com o martelo do penetrômetro para obtenção da leitura; A e P as leituras antes e depois da realização dos impactos (cm).

Figura 2- Esquema da malha experimental de campo localizado na Fazenda de Ensino, pesquisa e extensão (FEIS/UNESP)



Fonte: do próprio autor



As determinações dos atributos físicos a seguir foram realizadas conforme metodologia da EMBRAPA (2011), cujas amostras deformadas do solo para determinação da umidade gravimétrica (UG) foram coletadas no mesmo momento que o da resistência do solo a penetração, com um trado de caneca e transferida para estufa a 105°C, deixando por 24 horas e determinada pela equação:

$$UG = (PU - PS) / OS \quad (4)$$

onde: UG é umidade gravimétrica (kg kg⁻¹); PU é a massa de solo úmido (g); e PS é a massa de solo seco em estufa (g).

A densidade do solo (DS) foi calculada pelo método do anel volumétrico com volume definido de acordo com a equação 5:

$$DS = PS / VA \quad (5)$$

onde: DS é a densidade do solo (Kg dm⁻³); PS é a massa da amostra seca a 105°C (g); e VA é o volume do anel ou cilindro (cm³). A densidade da partícula (DP), pelo método do álcool (balão volumétrico) e calculada pela seguinte equação:

$$DP = PS / (50 - VG) \quad (6)$$

onde: DP é a densidade da partícula (kg dm⁻³); PS é o peso da amostra seca a 105°C; 50 é o volume do balão volumétrico; e VG é o volume de álcool gasto para completar o volume do balão volumétrico. Dessa forma, a porosidade total do solo (PT) foi calculada conforme a Equação (7) apresentada pela EMBRAPA (1997):

$$PT = [1 - (DS \cdot DP^{-1})] \quad (7)$$

onde: **PT** é a porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), **DS** e **DP** são respectivamente as densidades do solo e da partícula (kg dm^{-3}). Para a **UG** foram utilizadas amostras deformadas de solo, coletadas com uma sonda caladora.

A textura do solo (**Areia, silte e argila**), foi determinada pelo método da pipeta que se baseia na velocidade de queda das partículas que compõem o solo. Fixou-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água, após a adição de um dispersante químico (NaOH). Pipetou-se um volume da suspensão (50 mL), para determinação da argila que foi seca em estufa e pesada. A areia foi separada por peneira de 0,053 mm, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais. O Silte foi obtido por diferença entre areia e argila.

A estabilidade de agregados foi analisada pelo tamisamento por via úmida das amostras de solo no aparelho de Yoder, segundo método descrito por KIEHL (1979). Os resultados, expressos nas classes 8 – 2 mm, 2 – 1 mm, 1 – 0,5 mm, 0,5 – 0,25 mm, 0,25 – 0,125 mm e <0,125 mm, foram utilizados no cálculo do Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e o Diâmetro Médio Geométrico (DMG). Estes índices de agregação do solo foram calculados da seguinte maneira:

$$\text{DMP} = \Sigma (\text{xi}.\text{wi}) \quad (8)$$

onde: xi é o diâmetro médio das classes (mm) e wi é a proporção de cada classe em relação ao total, citadas por Demarchi et al. (2011).

$$\text{DMG} = \exp \{ \Sigma [(\ln [\text{xi}] * [\text{pi}])] / \Sigma [\text{pi}] \} \quad (9)$$

onde: $\ln[\text{xi}]$ é o logaritmo natural do diâmetro médio das classes e pi é a massa (g) retida em cada peneira, como citado por DEMARCHI et al. (2011).

Os atributos químicos estudados do solo foram: teor de fósforo (P), matéria orgânica (MO), valores de pH em CaCl_2 , teor de potássio (K) e valores de saturação por bases (V%). O teor de fósforo (P) e potássio (K) disponível no solo foi determinado pelo método de extração com a resina trocadora de íons, dados em mg dm^{-3} e mmolc dm^{-3} . O pH foi determinado potenciométricamente em solução de CaCl_2 0,01M enquanto que o carbono orgânico foi pelo método da combustão úmida, via colorimétrica, resultando no teor de matéria orgânica do solo (MO) pela seguinte expressão (RAIJ et al., 2011):

$$\text{MO} = \text{C}.17,24 \quad (10)$$

Todas as análises foram efetuadas no Laboratório de Física e Química do Solo da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP. Portanto, a síntese dos 27 atributos do solo nas respectivas profundidades foi: a) profundidade 1: RP1, UG1, DS1, PT1,

Are1, Arg1, Sil1, DMG, DMP, P1, MO1, pH1, K1 e V1; b) profundidade 2: RP2, UG2, DS2, PT2, Are2, Arg2, Sil2, P2, MO2, pH2, K2 e V2.

3.5.2 Atributos da planta

Os atributos avaliados da cultura da soja foram: a) produtividade de grãos (PG), com os valores extrapolados e representados em kg ha^{-1} , b) número de vagens por planta (NVP), c) número de grãos por vagem (NGV), d) número de grãos por planta (NGP), e) massa de cem grãos (MCG), f) Nitrogênio foliar (Nf), g) fósforo foliar (Pf) e potássio foliar (Kf). Coletaram-se todas as plantas originadas do entorno do ponto amostral estaqueado.

Para análise dos teores foliares de N, P e K, foram coletadas terceiras folhas contando a partir do ápice da planta, pois esta foi recém-aberta, assim, para o teor de N, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada a $60-70^{\circ}\text{C}$, por 72 h, moídas e submetidas à digestão sulfúrica. Para os teores de P foram determinados pelo método da colorimetria do molibdovanadato, enquanto que K por fotometria de chama conforme método descrito em Malavolta et al. (1997), após digestão nitro-perclorica.

A área representativa dessa coleta foi de $3,24 \text{ m}^2$, com 4 linhas de plantas ($1,80 \text{ m} \times 1,80 \text{ m}$), sendo aproximadamente 115 plantas destinadas a representar a produtividade e 10 plantas para as demais avaliações. A colheita da cultura da soja, consistida do arranquio das plantas e previamente identificado, efetuada aos 130 dias após a semeadura (25/03/2014). O material de cada ponto amostral foi colocado para secagem num terreiro sob o sol. Posteriormente, a trilha foi efetuada com uma trilhadora, onde separava os grãos de soja da palhada da planta, sendo seus valores corrigidos para 13 % de umidade.

3.5.3 Macrofauna

Para a coleta da macrofauna, utilizou-se a aspirina (ácido acetilsalicílico), onde foi diluída em 500 ml de água e colocada em um recipiente plástico, posteriormente foi instalada no campo, uma semana antes da coleta de solo. Com isso, ocorreu a atração dos insetos para o recipiente e avaliou-se a fauna do local. Ao total foram instalados 100 potes plásticos com aspirina diluída, para ter o mesmo número de amostras como os de planta e os de solo. Para a avaliação, os insetos foram separados para contagem e separação por classes.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS

Para cada atributo estudado foi efetuada a análise descritiva auxiliada pela estatística clássica. Utilizando-se o SAS (SCHLOTZHAYER; LITTEL, 1997) onde calcularam-se a média, mediana, moda, valores mínimo e máximo, desvio padrão, coeficiente de variação, curtose e assimetria. Em seguida, 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 geoestatística. Foi efetuada a análise da distribuição de frequência dos dados. Desta forma, para testar a hipótese de normalidade, ou de lognormalidade dos atributos (x), foi utilizado o teste de Shapiro e Wilk a 1 %, em que a estatística W testa a hipótese nula, a qual julga ser a amostra proveniente de população com distribuição normal.

Foi montada uma matriz de correlação, visando efetuar as regressões lineares para as combinações, duas a duas, entre todos os atributos estudados (solo e planta) para cada ponto amostral, em ambas as profundidades. O objetivo foi estudar a correlação linear entre eles, na tentativa de selecionar aqueles de elevada correlação e, que provavelmente poderiam apresentar semivariograma cruzado e, portanto, co-krigagem.

Por outro lado, para cada camada estudada do solo, assim como para todas conjuntamente, foram efetuadas as regressões lineares múltiplas entre as variáveis independentes (solo) e as dependentes (planta) objetivando selecionar aquelas que, nos devidos casos, proporcionariam as melhores relações entre causa e efeito, por intermédio do EXCEL. Para os atributos que não apresentaram dependência espacial, isto é, na ausência de estacionaridade, retirou-se a tendência dos dados por meio da técnica da regressão múltipla polinomial, conforme preceitos de Armesto (1999). Portanto, para cada atributo foi analisada a dependência espacial pelo cálculo do semivariograma, com bases nos pressupostos de estacionaridade a hipótese intrínseca, usando o pacote *Gama Design Software* (GS⁺, 2004).

Seguidamente, ajustaram-se semivariogramas cruzados entre as seguintes combinações de atributos, pelo uso do GS⁺ (2004): a) planta x planta, b) planta x solo, c) planta x macrofauna. O objetivo foi definir os pares de melhor representatividade, isto é, qual atributo, tido como variável secundária apresentou melhor correlação espacial explicativa do atributo tido como variável primária.

Os ajustes dos semivariogramas simples e cruzados, em função de seus modelos, foram efetuados prioritariamente pela seleção inicial de: a) o maior coeficiente de

determinação (r^2); b) a menor soma dos quadrados dos desvios (SQD), e c) o maior avaliador do grau da dependência espacial (ADE). A decisão final do modelo que representou o ajuste foi realizada pela validação cruzada, assim como para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionou a melhor malha de krigagem e/ou co-krigagem, realizadas por meio da krigagem em blocos. Para cada atributo, foram estimados o efeito pepita (C_0), o alcance (a_0) e o patamar ($C_0 + C$). A análise do avaliador da dependência espacial (ADE) foi efetuada conforme a Equação 03.

3.7 ANÁLISE MULTIVARIADA DOS ATRIBUTOS PESQUISADOS

Foram aplicados três métodos estatísticos multivariados, visando classificar os acessos (cada um dos 100 pontos amostrais) em grupos: análise de agrupamentos hierárquica, análise de agrupamentos não-hierárquica (k-means) e análise de componentes principais (ACP). Todas as análises multivariadas foram realizadas após a padronização das variáveis em que cada uma ficou com média 0 e variância unitária (1).

Primeiramente, fez-se a ACP de todas as variáveis de solo e planta estudadas, esses componentes foram construídos pela combinação da correlação entre as variáveis, sendo extraídas em ordem decrescente de importância, em termos de sua contribuição para a variação total dos dados (SILVA et al., 2010), utilizando-se o pacote estatístico Statistica.

Estas correlações foram classificadas de acordo com Coelho (2005), onde o critério para classificação dos autovetores (valores que representam o peso de cada caractere, em cada componente e, variam de -1 a +1) foi: valor absoluto $< 0,30$, classificado como pouco significativo; $0,30-0,40$, considerado medianamente significativo; e $\geq 0,50$, tido como altamente significativo. E então as variáveis que tiveram autovetores com peso $\geq 0,50$ (altamente significativo) foram submetidas a uma nova ACP, para ranquear os componentes com maior carga fatorial (escore).

Posteriormente, os dados foram submetidos ao processamento da análise de agrupamento por método hierárquico adotando a distância euclidiana como medida de semelhança entre as amostras e o método de Ward como método de ligação de grupos. Após adotar uma quantidade de grupos que melhor caracterizou a estrutura de grupos contida nos dados originais foi feita a análise de agrupamento por método não-hierárquico utilizando o algoritmo k-means (HAIR JUNIOR et al., 2005) que permitiu caracterizar o padrão das variáveis por grupo considerado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

4.1.1 Variabilidade dos atributos

4.1.1.1 Atributos da planta

Segundo Pimentel-Gomes & Garcia (2002), a variabilidade de um atributo pode ser classificada segundo a magnitude do seu coeficiente de variação (CV). Suas classes foram determinadas como baixa ($CV < 10\%$), média ($10\% < CV < 20\%$), alta ($20\% < CV < 30\%$) e muito alta ($CV > 30\%$). A produtividade de grãos da soja (PG) apresentou variabilidade muito alta, com CV de 39% (Tabela 3). Assim, neste aspecto, a variabilidade da PG foi diferente dos valores observados por Rosa Filho et al. (2009) estudando a cultura da soja em um Latossolo Vermelho Distroférico a cultura da soja sob plantio direto e Vieira et al. (2010), em um Latossolo Vermelho Distroférico com a cultura da soja em plantio direto, que encontraram média e alta variabilidade de 13,7 e 26,8% respectivamente.

Para o número de vagens por planta (NVP) e o número de grãos por planta (NGP) apresentaram alta variabilidade com CV's de 23,7% e 25,5%, enquanto o número de grãos por vagem (NGV) e a massa de cem grãos (MCG) apresentarem baixa variabilidade, com CV's de 6,7% e 8,8%, respectivamente. Dalchiavon et al. (2011) estudando a cultura da soja em um Latossolo Vermelho Distroférico sob plantio direto, encontraram alta variabilidade para NVP (25%) e NGP (25,2%) e baixa para NGV (8,6%).

4.1.1.2 Atributos do solo, teores foliares de nutrientes da soja e macrofauna

As variabilidades da umidade gravimétrica (UG), da densidade do solo (DS), porosidade total (PT), areia (Are), argila (Arg) e potencial Hidrogeniônico (pH) nas duas camadas de solo estudadas foram baixas, com CV's entre 3,3% e 8,9% (Tabela 3). Os dados de DS observados concordam com os obtidos por Alho et al. (2014) que trabalhando em um Cambissolo Háplico Alítico em uma malha de 70×70 m com 64 pontos amostrais e Silva & Lima (2013), em um experimento conduzido em Latossolo Vermelho Amarelo com 100 pontos amostrais, que constatarem baixa variabilidade, com CV's entre 5,07 a 7,97%. Em adição, Silva & Lima (2013), encontraram baixa variabilidade para Arg, com CV de 9,19%. A Are e a Arg, por serem atributos não influenciados pelas práticas de manejo da cultura e por apresentarem uma estabilidade

maior ao longo tempo, a variabilidade é intrínseca, ou seja, é devida à variação natural no solo (MONTEZANO et al., 2006).

Tabela 3- Estatística descritiva dos componentes de produção e produtividade da soja e atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Atributos ^(a)	Média	Mediana			Desvio Padrão	Coeficientes			Probabilidade do teste ^(b)	
			Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
Atributos da planta										
PG (kg ha ⁻¹)	1214,8	1250,0	169,8	2361,1	473,7	39,0	-0,281	-0,160	0,268	NO
NVP	30,5	29,5	10,3	51,0	7,235	23,7	0,555	0,517	0,029	TN
NGV	1,9	1,9	1,7	2,2	0,129	6,7	-	-	-	IN
NGP	59,1	57,4	20,7	100,9	14,505	25,5	0,363	0,468	0,076	NO
MCG (g)	15,9	15,8	11,4	19,1	1,404	8,8	0,084	-0,298	0,594	NO
Atributos físicos do solo										
RP1 (MPa)	6,036	5,795	1,674	13,091	2,442	40,4	-	-	-	IN
RP2 (MPa)	12,256	12,458	5,748	20,152	3,091	25,2	-0,440	-0,082	0,527	NO
UG1 (kg kg ⁻¹)	0,156	0,157	0,131	0,181	0,009	5,7	0,936	-0,317	0,021	TN
UG2 (kg kg ⁻¹)	0,162	0,162	0,139	0,183	0,007	4,6	1,843	-0,179	0,004	TN
DS1 (kg dm ⁻³)	1,359	1,367	1,112	1,685	0,102	7,5	0,264	-0,066	0,340	NO
DS2 (kg dm ⁻³)	1,411	1,418	1,228	1,555	0,066	4,7	0,114	-0,390	0,180	NO
PT1 (m³ m ⁻³)	0,489	0,490	0,408	0,589	0,043	8,9	-0,689	0,184	0,203	NO
PT2 (m³ m ⁻³)	0,467	0,460	0,396	0,548	0,032	6,9	-0,345	0,392	0,051	NO
Are1 (g kg ⁻¹)	357,7	357,0	303,0	426,0	23,020	6,4	0,259	0,180	0,655	NO
Are2 (g kg ⁻¹)	353,4	355,0	286,0	399,0	19,988	5,6	0,688	-0,448	0,095	NO
Arg1 (g kg ⁻¹)	498,1	499,0	455,0	542,0	16,373	3,3	-0,199	-0,027	0,892	NO
Arg2 (g kg ⁻¹)	503,3	504,0	458,0	563,0	18,746	3,7	0,321	0,143	0,812	NO
Sil1 (g kg ⁻¹)	144,0	145,0	94,0	198,0	15,851	11,0	1,187	0,111	0,349	NO
Sil2 (g kg ⁻¹)	143,4	143,0	112,0	188,0	13,014	9,1	1,128	0,272	0,141	NO
DMG (mm)	0,582	0,563	0,328	0,964	0,128	22,14	0,731	0,732	0,006	IN
DMP (mm)	1,243	1,188	0,689	2,137	0,306	24,64	0,148	0,608	0,023	TN

^(a)PG=produtividade de grãos de soja; NVP=número de vagens por planta; NGV=número de grãos por vagem; NGP=número de grãos por planta; MCG=massa de cem grãos; RP, UG, DS, PT, Are, Arg, Sil, DMG e DMP de 1 a 2, são respectivamente a resistência do solo penetração, umidade gravimétrica, densidade do solo, porosidade total, areia, argila, silte, diâmetro médio geométrico e o diâmetro médio ponderado, coletados nas camadas do solo; ^(b) DF=distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN, respectivamente, do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

Estudando um Latossolo Vermelho Distroférrico em uma malha de 21 × 65 m com 128 pontos amostrais, sob plantio direto e convencional, Schaffrath et al. (2008) verificaram baixa variabilidade para PT, com CV's entre 4,00% a 7,35%. Os valores de pH do solo concordam com os encontrados por Santos et al. (2014), onde teve por objetivo descrever a variabilidade espacial de atributos relacionados à acidez (pH, H +

Al, Al, Ca e Mg), o teor de matéria orgânica e necessidades de calagem em uma plantação de café conilon em São Mateus, num Latossolo Amarelo distrófico com pontos amostrais espaçados 5,6 m, encontraram baixa variabilidade, com CV de 6,1%. Em relação a UG, Souza et al. (2001), estudando após a colheita da cultura do feijoeiro um Latossolo Vermelho Distrófico com 103 pontos amostrais, encontraram baixa variabilidade, variando entre 3,87 a 6,85%.

A resistência do solo à penetração (RP) apresentou muito alta e alta variabilidade, com CV's de 40,4 e 25,5%, para as camadas C1 e C2, respectivamente (Tabela 3). Assim os valores observados de RP concordam com os obtidos em experimento conduzidos em áreas de Argissolo Amarelo e Latossolo Vermelho Distroférrico nas culturas de soja, capim-elefante e cana-de-açúcar, respectivamente (DALCHIAVON et al., 2011; RODRIGUES et al., 2014; OLIVEIRA FILHO et al., 2015), que variaram entre 22,1 e 64%. Tal compactação deve-se ao tráfego de implementos agrícolas, animais ou pessoas e o crescimento de raízes que aproximam as partículas do solo para sua passagem, os ciclos de umedecimento e secagem que confere a expansão e contração da massa do solo.

Em relação ao teor de silte (Sil) e o teor de matéria orgânica do solo (MO), todos apresentaram variabilidade de média a baixa (Tabela 3), com CV's entre 9,1 e 12,3%, respectivamente. Miqueloni et al. (2015) com o objetivo de caracterizar o solo química e fisicamente bem como verificar possíveis zonas de manejo em área de cana-de-açúcar e citrus no município de Colômbia (SP), trabalhando em um Latossolo Vermelho-Amarelo com 129 pontos amostrais, observaram CV para Sil e MO de 50,56 e 24,27% respectivamente. Os mesmos autores atribuírem tal variação devido essas camadas terem maiores alterações, principalmente pela ação antrópica, o que acarreta baixo grau de homogeneidade de suas características químicas, principalmente pelo aporte de nutrientes e, físicas, pelo uso de maquinários agrícolas.

O teor de fósforo disponível do solo (P) apresentou alta variabilidade na camada de 0,00-0,10 m e muito alta variabilidade na camada de 0,10-0,20 m, com CV's de 22,3 e 45,0%, respectivamente (Tabela 4). Por sua vez, o teor potássio n solo (K) apresentou variabilidade muito alta em ambas as profundidades, 55,9 e 50,8%, para as camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente. Portanto, para os dados de P na camada de 0,00-0,10 m, discorda daquele obtido por Negreiros Neto et al. (2014), o qual estudando a cultura do milho em um Latossolo Vermelho-Amarelo em uma malha de 130 × 13,5 m, contendo 100 pontos amostrais, encontraram muito alta variabilidade, com 34,37%.

Souza et al. (1998), trabalhando na cultura do trigo em um Argissolo com uma malha de 7×7 m com 49 pontos amostrais em sistema plantio direto, verificaram que na camada de 0,10-0,20 m, onde encontraram variabilidade muito alta, de 61,2%. Para o K, esses dados assemelham-se com os encontrados por Dalchiavon et al. (2012), que estudando em um Latossolo Vermelho Distroférrico com 120 pontos amostrais em uma área de 3,0 ha, encontraram variabilidade muito alta, com CV's de 51,81 e 59,83%, respectivamente. A alta variabilidade para os teores de P e K pode ser atribuída à aplicação localizada de fertilizantes, ao efeito residual da adubação e à exposição de camadas mais deficientes desse nutriente, podendo ocorrer áreas com quantidades excessivas ou com déficit de fertilizantes.

Em relação ao diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e saturação por bases (V%), todos apresentaram alta variabilidade, com CV's entre 20,6 e 24,64% (Tabela 3 e 4). Lima et al. (2014) e Pellin et al. (2015) estudando pastagens, mata atlântica e cana-de-açúcar em um Cambissolo Háplico, Cambissolo húmico e Argissolo Vermelho-Amarelo com 150 pontos amostrais espaçados em até 350 m e um Latossolo Vermelho Distroférrico com 80 pontos amostrais em uma malha irregular, observaram para DMG alta variabilidade, com CV's de 24,21 e 27,6%, entretanto, discorda para DMP, que foi de 19,61 e 14,3% respectivamente. Para a V%, Dalchiavon et al. (2012) estudando rotação das culturas (1 - soja, 2 - milho e 3 - algodão) sucedida das culturas invernais (1 - aveia preta, 2 - feijão e 3 - milho) verificaram variabilidade alta para a V% apenas para a camada C1, com valor de 29,13%, porém, discorda para a camada C2, variabilidade muito alta, com CV de 35,74%.

Os teores nutricionais foliares da cultura da soja (N, P e K) apresentaram média, baixa e média variabilidade, com CV's de 11,2%, 9,2% e 18,5%, respectivamente (Tabela 4). Esses resultados corroboram apenas para o Nf com aqueles obtidos por Vieira et al. (2010), onde trabalhando na cultura da soja em um Latossolo Vermelho com uma área amostral de 63 pontos amostrais em 1,92 ha, encontraram média variabilidade, com coeficiente de 10,2%.

Para a macrofauna da área, todas as classes de insetos apresentaram variabilidade muito alta, com coeficientes de variação entre 108,7 a 438,1% (Tabela 4). Dinardo-Miranda (2007) estudando a *Mahanarva fimbriolata* em cana-de-açúcar, encontrou CV maiores que 47 %, sendo considerados muito alto. Estes resultados foram considerados muito altos devido não apresentarem a estacionaridade, pois ocorre a locomoção dos

insetos, assim, lugares amostrados apresentaram uma alta macrofauna e em outros pontos amostrados não apresentaram nada.

Tabela 4- Estatística descritiva dos atributos químicos do solo, teores de nutrientes foliares na soja e a macrofauna da área experimental.

Atributos ^(a)	Média	Mediana			Desvio Padrão	Coeficientes			Probabilidade do teste ^(b)	
			Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
Atributos químicos do solo										
P1 (mg dm ⁻³)	18,1	18,0	9,0	30,0	4,038	22,3	0,197	0,604	0,012	TN
P2 (mg dm ⁻³)	16,2	15,0	5,0	44,0	7,318	45,0	-	-	-	IN
MO1 (g dm ⁻³)	17,5	17,0	12,0	24,0	2,153	12,3	-	-	-	IN
MO2 (g dm ⁻³)	16,6	16,5	14,0	20,0	1,640	9,9	-	-	-	IN
pH1 (CaCl ₂)	4,5	4,5	4,2	5,0	0,161	3,5	-	-	-	IN
pH2 (CaCl ₂)	4,8	4,9	4,3	5,6	0,274	5,6	-	-	-	IN
K1 (mmolc dm ⁻³)	1,6	1,3	0,5	4,1	0,911	55,9	-	-	-	IN
K2 (mmolc dm ⁻³)	0,8	0,7	0,2	2,0	0,424	50,8	-	-	-	IN
V1 (%)	34,6	34,0	18,0	54,0	7,143	20,6	-0,035	0,218	0,803	NO
V2 (%)	34,4	33,5	17,0	50,0	7,805	22,7	-0,804	0,259	0,018	TN
Teores foliares										
Nf (g kg ⁻¹)	31,8	31,6	20,3	41,7	3,562	11,2	1,149	-0,103	0,214	NO
Pf (g kg ⁻¹)	2,5	2,5	1,9	3,0	0,227	9,2	-	-	-	IN
Kf (g kg ⁻¹)	15,8	16,0	10,0	24,0	2,928	18,5	-	-	-	IN
Macrofauna										
Anel	1,1	1,0	0,0	10,0	1,384	130,5	-	-	-	IN
Ortho	1,0	1,0	0,0	6,0	1,184	122,1	-	-	-	IN
Hyme	2,4	0,0	0,0	59,0	6,674	274,6	-	-	-	IN
Blatto	0,4	0,0	0,0	2,0	0,689	191,5	-	-	-	IN
Gastro	0,4	0,0	0,0	7,0	1,112	258,7	-	-	-	IN
Lepi	0,1	0,0	0,0	1,0	0,219	438,1	-	-	-	IN
Coleo	1,2	1,0	0,0	7,0	1,250	108,7	-	-	-	IN
Hemi	0,6	0,0	0,0	4,0	1,007	176,7	-	-	-	IN
Aran	0,2	0,0	0,0	2,0	0,477	227,4	-	-	-	IN

^(a) P, MO, pH, K e V%, de 1 a 2, são respectivamente o fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio e saturação por bases, coletados nas camadas do solo; Nf, Pf e Kf, são respectivamente os teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio e Anel=anelídeo; Ortho=orthoptera; Hyme=hymenoptera; Blatto=blattodea; Gastro=gastropoda; Lepi=lepidoptera; Coleo=coleoptera; Hemi=hemiptera; Aran=araneae; ^(b) DF=distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

4.1.2 Distribuição de frequência dos atributos

4.1.2.1 Atributos da planta

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 pela mediana, ou pela média geométrica, caso possua distribuição de frequência do tipo lognormal (SPIEGEL, 1985). Portanto, os atributos produtividade de grãos da soja (PG), número de grãos por planta (NGP) e massa de cem grãos (MCG) apresentaram distribuição de frequência do tipo normal, com coeficientes de assimetria positivo de 0,468 para NGP e negativos de -0,160 e -0,298 para PG e MCG, respectivamente (Tabela 3). Por outro lado, os coeficientes de curtose positivos para NGP e MCG foram de 0,363 e 0,084, respectivamente, e negativo de -0,281 para PG. A hipótese de normalidade dos dados de cada variável foi averiguada por meio do teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965) ao nível de 5% de significância, assim, independentemente de tais coeficientes, o teste de normalidade foi não significativo para esses atributos, indicando que os dados apresentam distribuição normal ($p > 0,05$). Porém, os atributos número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem (NGV), apresentaram distribuição de frequência do tipo tendendo a normal e indeterminado, respectivamente, com valores de probabilidade associada à estatística do teste de 0,029, respectivamente.

4.1.2.2 Atributos do solo, teores foliares de nutrientes da soja e macrofauna

Os atributos que apresentaram valores não significativos ($p > 0,05$) para o teste de normalidade de Shapiro e Wilk, e considerados normais foram RP2, DS1, DS2, PT1, PT2, Are1, Are2, Arg1, Arg2, Sil1, Sil2, V1 e Nf, portanto, as respectivas medidas de tendência central foram representadas pelas suas respectivas médias, com coeficientes de assimetria positiva ou negativa entre -0,448 e 0,392. Por sua vez, os coeficientes de curtose variaram de -0,689 e 1,187 (Tabela 3 e 4). Os dados de RP2 concordam com os observados por Dalchiavon et al. (2011), onde encontraram valores normais, que apresentou coeficientes de assimetria de 0,262 e curtose de 0,168. Rosa Filho et al. (2009) encontraram valores normais para RP2, DS1 e DS2 com coeficientes de assimetria e curtose variando entre -0,608 a 0,226.

Os atributos UG1, UG2, DMP (Tabela 3), P1 e V2 (Tabela 4) apresentaram distribuição de frequência do tipo tendendo a normal com valores de probabilidade associados à estatística do teste de 0,021; 0,004; 0,023; 0,012, e 0,018; respectivamente.

A não normalidade dos dados pode estar atribuída a erros amostrais ou até mesmo a heterogeneidade da área devido ao impacto causado pela mecanização agrícola adotado pelo SPD, pelas atividades de manejo da cultura e pelos processos de erosão superficial e lixiviação de nutrientes. Era esperado que a maioria dos atributos determinados no solo não apresentassem ajuste a uma distribuição normal, devido aos solos apresentarem grande variabilidade (MONTEZANO et al., 2006). A distribuição de frequência para os demais atributos foi indeterminada (Tabela 3 e 4). Dalchiavon et al. (2012) encontraram valores indeterminados semelhantes para P2, MO1, MO2, pH1, pH2 e K2 com coeficientes de assimetria variando entre 0,126 a 1,632 e de curtose entre -0,323 e 2,071.

4.1.3 Valores médios dos atributos estudados

4.1.3.1 Atributos da planta

O valor médio da PG foi de 1214,8 kg ha⁻¹ (Tabela 3), ficando distantes daqueles obtidos por Girardello et al. (2014), que obtiveram uma produtividade de 3.630 kg ha⁻¹, onde tal produtividade foi pelas frequentes precipitações durante o ciclo, pela elevada fertilidade do solo na média geral da área, pelo período de tempo de adoção do SPD e pelo cultivar da soja utilizado, que possui elevado potencial produtivo. Assim, a média ficou 198,8% abaixo da produtividade encontrado pelo referido autor, 136,6% abaixo da produtividade média de SP que foi de 2.874 kg ha⁻¹, 146,4% abaixo da produtividade Brasileira e mundial, segundo Conab (2015). A baixa produtividade de soja, neste estudo, foi explicada pela falta de chuva durante o ciclo da cultura (Figura 1), pela elevada compactação do solo na média geral da área (Tabela 3), pelo período de tempo de adoção do SPD, onde nos últimos anos de cultivo, ocorreu o plantio de milho na safra e pousio na safrinha, fazendo assim acontecer a redução na qualidade física e química do solo.

Os atributos componentes de produção dados pelo número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), número de grãos por planta (NGP) e a massa de cem grãos (MCG) apresentaram os seguintes valores médios: a) NVP (30,5), b) NGV (1,9), c) NGP (59,1) e d) MCG (15,9 g). Esses resultados obtidos discordam daqueles Dalchiavon et al. (2011) que encontraram valores superiores para NVP (72,2), NGV (2,2) e NGP (157,6) e inferior para MCG (14,4). Conforme Navarro Júnior e Costa (2002), o NGP e o NGV são os dois componentes mais determinantes da produtividade de grãos de soja, onde alterações em ambos são responsáveis pela queda ou aumento da produtividade. Com isso, valores observados de NVP, NGP e MCG são considerados

baixos para cultura da soja, influenciando diretamente na produtividade de grãos da soja do presente estudo.

4.1.3.2 Atributos do solo, teores foliares de nutrientes da soja e macrofauna

Os valores médios dos atributos físicos do solo foram distintos em ambas as profundidades, ocorrendo aumento em profundidade para RP, UG, DS e Arg. e diminuição para PT, Are e Sil (Tabela 3). Assim, esses dados diferiram dos observados por Faraco et al. (2008), que trabalhando em um Latossolo Vermelho distroférico com 100 pontos amostrais, em sistema plantio direto, encontraram valores de DS1, DS2, RP1, RP2, UG e UG2 de 1,101; 1,118; 2,729; 2,427; 0,369 e 0,391, respectivamente, porém houve concordância com o aumento em profundidade para DS e UG. Souza et al. (2001) trabalhando em um Latossolo Vermelho Distroférico sob semeadura direta com 103 pontos amostrais, encontraram valores semelhantes para PT e UG, que foi de 0,46; 0,44 m³ m⁻³ e 0,17; 0,17 kg kg⁻¹ respectivamente. Os valores de PT ficaram próximos do solo considerado ideal, do ponto de vista agrônomo, com 0,50 m³ m⁻³ de porosidade total, de acordo com Kiehl (1979).

A DMG e DMP foram diferentes em ambas as profundidades, ocorrendo um aumento das DSs e RPs e diminuição das PTs conforme o aumento da profundidade. As camadas encontravam-se compactadas, tornando-se um fator limitante para máxima expressão da produtividade da soja, prejudicada tanto pelo deficiente crescimento radicular, assim como pelas conseqüentes deficiências proporcionadas à absorção nutricional. Na camada 0,10-0,20m ocorreu maior acúmulo de água no solo, devido ao caminhar da argila para camadas mais profundas, conseqüentemente o menor conteúdo de água no solo ocorre menor compactação, por causa das partículas que se aglutinam por forças de coesão, formando agregados mais resistentes, que impedem o deslocamento das partículas e seu rearranjo e conseqüente compactação do solo (BEUTLER et al., 2005).

Os valores médios dos atributos químicos do solo sofreram diminuição em profundidade, com exceção do pH, que ocorreu um aumento em profundidade (Tabela 4), conferindo seu baixo teor de pH na superfície devido ao efeito da adubação nitrogenada e decomposição de matéria orgânica superficial. Cavalcante et al. (2007), estudando um Latossolo Vermelho Distroférico sob plantio direto com 64 pontos amostrais encontraram para pH (pH1 de 5,3 e pH2 de 4,9), K (K1 de 4,6 mmol_c dm⁻³ e K2 de 1,8 mmol_c dm⁻³) e V (V1 de 68,5 % e V2 de 54,7 %), diferindo dos da presente

pesquisa. Souza e Alves (2003), trabalhando em um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes manejos, verificaram para os atributos P e K em plantio direto, valores em profundidade de 30,0; 14,6 mg dm⁻³ e 5,31; 2,63 mmolc dm⁻³ respectivamente. O valor do V% em ambas as profundidades foram consideradas baixas para a implantação da cultura da soja, onde estudos relataram que a soja precisa de um V% de no mínimo 60% para seu bom desenvolvimento.

A grande variabilidade dos dados revelou os problemas que podem ocorrer quando se usa a média dos valores dos atributos como base para a tomada de decisão sobre a realização do manejo químico do solo. Em alguns locais, a dose recomendada de fertilizantes ou corretivos estará subdimensionada; em outros, será adequada e, em outros, pode haver aplicação excessiva de determinado fertilizante ou corretivo. Isto resulta em prejuízos econômicos, tanto pela aplicação desnecessária de fertilizantes e defensivos, quanto pelo desequilíbrio entre as quantidades de nutrientes que serão disponibilizados para as plantas, além do efeito deletério que essa prática pode ocasionar sobre o ambiente (CORÁ et al., 2004).

Segundo Novaes et al. (2007), práticas de manejo inadequados como a adoção do cultivo intensivo, em vez do cultivo mínimo ou do plantio direto, podem levar à queda rápida do teor de matéria orgânica do solo, pois esta estabiliza e agrega as partículas do solo, melhorando o armazenamento e o fluxo de água, mantendo os solos menos compactados. Em adição, a MO retém o C da atmosfera e nutrientes como Ca, Mg e K. Portanto, manter e aumentar o teor de matéria orgânica do solo são condições primordiais para evitar a redução da fertilidade dos solos e para garantir a sua qualidade e o seu pleno funcionamento nos agrossistemas produtivos.

Os valores dos teores foliares de Nf, Pf e Kf não se assemelham daqueles obtidos por Vieira et al. (2010), que trabalhando a cultura da soja em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta com 63 pontos amostrais, encontraram valores de Nf e Kf de 44,7 g kg⁻¹ e 24,3 g kg⁻¹ respectivamente. Segundo Sfredo et al. (1999a) e Sfredo et al. (2001), os valores encontrados na presente pesquisa para os teores de Nf, Pf e Kf (Tabela 4) são considerados muito baixo, baixo e muito baixo respectivamente, o que conferiu baixo rendimento da cultura, podendo ser considerado um fator responsável pela baixa produtividade de grãos da soja. Com a diagnose foliar, pode-se saber os efeitos individuais dos nutrientes e também o balanço nutricional através de uma escala contínua, e classificar a ordem de limitação da produtividade de cada nutriente.

4.2 ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE OS ATRIBUTOS

4.2.1 Regressão linear simples

4.2.1.1 Atributos da planta versus atributos de solo

A correlação entre a PG versus atributos de solo (Tabela 5), apresentou significância para os pares: PG x UG2 ($r = 0,229^*$), PG x DP2 ($r = 0,203^*$), PG x DMG ($r = -0,385^{**}$) e PG x DMP ($r = -0,325^{**}$). Os pares que apresentaram correlação positiva foram o PG x UG2 e PG x DP2, indicando o aumento da umidade gravimétrica (UG2) e densidade da partícula (DP) na camada C2, ocorrerá o mesmo com a PG. Por outro lado, o DMG e DMP apresentaram correlação negativa com a PG, sendo tal correlação explicada pela provável compactação da camada C1, o que levaria a uma diminuição de O_2 , portanto, menor absorção de nutrientes pelas plantas, menor produtividade vegetal.

A correlação entre o número de grãos por vagem (NGV) apresentou significância exclusiva para o par NGV x pH2 ($r = -0,230^*$). Por outro lado, em relação ao número de grãos por planta (NGP) e massa de cem grãos (MCG), a correlação significativa para os pares NGP x K1 ($r = -0,220^*$), MCG x DP1 ($r = 0,257^{**}$) e MCG x V2 ($r = 0,241^*$).

4.2.1.2 Atributos da planta versus teor de nutrientes foliares

As correlações entre atributos da planta versus os teores de nutrientes foliares não teve significância entre eles, pois a produtividade da soja nesse caso, não foi significativo pelos teores de Nf, Pf e Kf que estão presente na folha (Tabela 5).

4.2.1.3 Atributos da planta versus macrofauna

A correlação dos atributos de planta versus a macrofauna (Tabela 5) foi significativo apenas para os pares NVP x Anel ($-0,299^{**}$) e NGP x Anel ($r = -0,291^{**}$), ou seja, com o aumento no número de anelídeos (minhoca) irá diminuir o NVP e o NGP e consequentemente e PG. Eles auxiliam no processo de decomposição de MO e escavam túneis que permitem uma melhor oxigenação. Com isso, o aumento no de anelídeos no solo, fazem com o contato solo/raiz seja menor, ocorrendo uma menor absorção de nutrientes e água pela planta, diminuindo assim a produtividade.

Tabela 5- Matriz de correlação linear simples entre componentes de produção, produtividade e teores de nutrientes foliares da soja e atributos físicos, químicos e macrofauna de um Latossolo Vermelho Distroférico.

Atributos ^(a)	Coeficiente de correlação ^(b)										
	PG	NVP	NGV	NGP	MCG	Atributos ^(a)	PG	NVP	NGV	NGP	MCG
RP1	-0,005	0,008	-0,037	0,008	-0,052	Are1	-0,165	-0,039	0,036	-0,028	0,051
RP2	-0,091	-0,099	-0,146	-0,142	-0,166	Are2	-0,053	-0,042	-0,193	-0,114	0,139
UG1	0,107	0,039	-0,146	0,022	-0,105	Arg1	0,132	0,068	-0,020	0,085	-0,027
UG2	0,229*	0,121	0,039	0,132	-0,038	Arg2	0,092	0,034	0,055	0,065	-0,143
DS1	0,137	0,030	0,151	0,083	0,074	Sil1	0,110	0,044	0,039	0,029	-0,027
DS2	0,017	-0,0002	-0,140	-0,027	-0,074	Sil2	-0,021	0,013	0,119	0,058	-0,041
DP1	0,075	0,114	-0,036	0,093	0,257**	DMG	-0,385**	-0,074	-0,064	-0,097	-0,058
DP2	0,203*	-0,157	-0,058	-0,133	0,071	DMP	-0,325**	-0,094	-0,105	-0,126	-0,066
PT1	-0,070	0,051	-0,119	0,001	0,155	Nf	0,026	0,103	-0,005	0,063	0,158
PT2	0,083	-0,135	0,041	-0,103	0,071	Pf	0,157	-0,014	-0,086	-0,027	0,085
MO1	-0,167	0,181	-0,091	0,129	0,027	Kf	0,069	0,004	-0,198	-0,039	-0,074
MO2	-0,141	0,151	0,007	0,125	0,066	Anel	-0,008	-0,299**	0,007	-0,291**	-0,160
pH1	0,172	-0,060	-0,085	-0,113	0,166	Ortho	0,063	-0,008	0,065	-0,003	0,078
pH2	-0,060	0,094	-0,230*	0,019	0,039	Hyme	0,081	0,022	-0,116	0,027	0,079
P1	-0,007	-0,134	0,049	-0,131	-0,144	Blatto	-0,090	-0,012	0,002	-0,001	0,152
P2	0,143	0,019	-0,093	-0,004	0,082	Gastro	0,042	-0,135	-0,230	-0,165	0,126
K1	-0,051	-0,166	-0,123	-0,220*	-0,055	Lepi	0,037	-0,063	-0,018	-0,066	0,061
K2	0,060	-0,036	-0,099	-0,062	0,001	Coleo	0,036	0,124	-0,084	0,109	0,146
V1	-0,038	-0,116	0,024	-0,168	0,046	Hemi	-0,066	0,024	-0,163	-0,016	-0,013
V2	-0,015	-0,035	-0,171	-0,092	0,241*	Aran	0,119	0,055	-0,005	-0,030	0,189

(a) Componentes produtivos da soja: PG, NVP, NGV, NGP e MCG, respectivamente, produtividade de grãos, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta e massa de cem grãos; RP, UG, DS, PT, Are, Arg, Sil, DMG, DMP, P, MO, pH, K, V%, Nf, Pf, Kf, Anel, Ortho, Hyme, Blatto, Gastro, Lepi, Coleo, Hemi e Aran de 1 a 2, são respectivamente a resistência do solo à penetração, umidade gravimétrica, densidade do solo, porosidade total, areia, argila, silte, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio, saturação por bases, nitrogênio foliar, fósforo foliar, potássio foliar, anelídeo, Orthoptera, hymenoptera, Blattodea, Gastropoda, Lepidoptera, Coleoptera, Hemiptera e Araneae; (b) * Significativo a 5 %, ** Significativo a 1 %.

4.2.2 Regressão linear simples entre os atributos

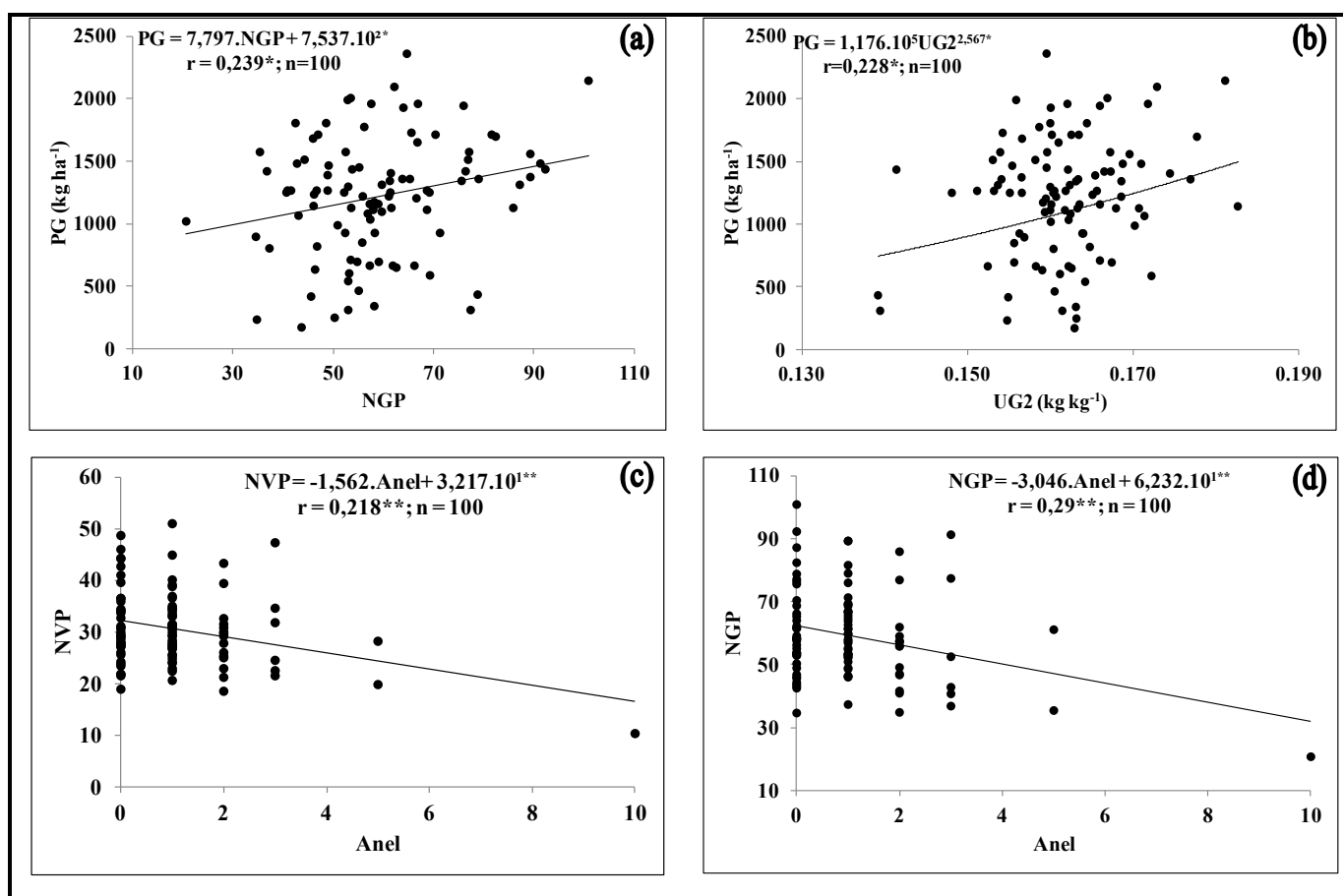
Na Tabela 6 e na Figura 3 estão apresentadas as principais equações lineares entre os atributos de planta *versus* planta, planta *versus* solo, planta *versus* teor foliar e planta *versus* macrofauna. Portanto, os modelos foram apresentados para os pares de atributos que proporcionaram correlações significativas, assim como também apresentaram coeficientes adjuntos significativos para as variáveis independentes.

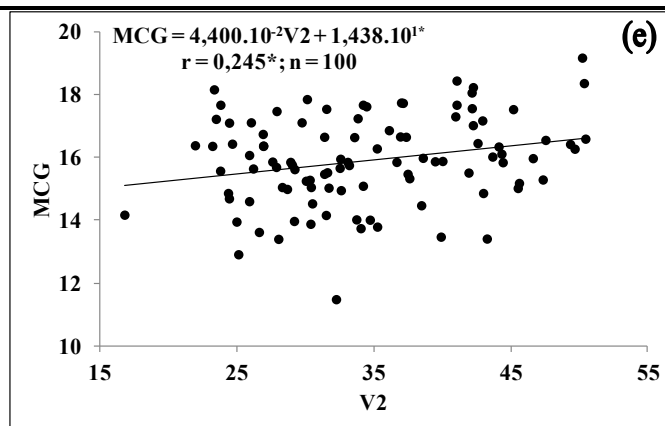
Tabela 6- Equações e coeficientes da regressão entre atributos da produtividade da soja e um Latossolo Vermelho Distroférico sob plantio direto

Modelo matemático ^(a)	Coeficiente de ajuste ^(b)				Número da equação
	A	b	C	R	
$PG = a \cdot NGP + b$	7,797	$7,537 \cdot 10^{2*}$	-	0,239*	11
$PG = a \cdot UG2^b$	$1,176 \cdot 10^5$	$2,567^*$	-	0,228*	12
$NVP = a \cdot Anel + b$	1,562	$3,217 \cdot 10^{1**}$	-	0,228**	13
$NGP = a \cdot Anel + b$	-3,046	$6,232 \cdot 10^1$	-	0,29**	14
$MCG = a \cdot V2 + b$	$4,400 \cdot 10^{-2}$	$1,438 \cdot 10^1$	-	0,245*	15

(a) PG = produtividade de grãos da soja; NVP = número de vagens por planta; NGP = número de grãos por planta; MCG = massa de cem grãos; V2 é a Saturação por bases de 0,10-0,20 m; Anel = Anelídeo (b) ** significativo a 1%, * significativo a 5%.

Figura 3: Equações de regressão entre atributos da cultura da soja, macrofauna e atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).





Na correlação entre atributos de planta *versus* planta (Tabela 6) foi observado que a equação de regressão da PG em função da NGP foi representada por um modelo linear (Eq. 11; Fig. 4a), com um baixo coeficiente de correlação, porém, significativo ($r = 0,238^*$). Seu baixo valor foi explicado pelo alto número de observações utilizado no presente experimento ($n=100$). Portanto, a variação da produtividade de grãos da soja (PG) pôde ser explicada por apenas 23,9% da variação dos dados do número de grãos por planta (NGP). Dessa forma, quando o NGP variar entre 20 a 101, a PG aumentará de 910 a 1542 kg ha⁻¹. Enquanto que tomado o valor médio de 59 do NGP poderá ser estimada a PG média de 1214 kg ha⁻¹, sendo considerado uma produtividade muito baixa.

Na correlação planta *versus* solo, a PG apresentou uma variação potencial direta com o UG2 (Eq. 12; Fig. 4b). Assim, quando ocorrer o mínimo da UG2, implicará no mínimo estimado da PG, igual a 742,2 kg ha⁻¹, caso contrário, quando ocorrer o máximo valor da UG2 acarretará na máxima estimada da PG, sendo valor de produtividade muito baixo, igual a 1503,5 kg ha⁻¹.

4.3 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DOS ATRIBUTOS ESTUDADOS

4.3.1 Análise semivariográfica simples

4.3.1.1 Ajuste dos semivariogramas simples e validação cruzada ajustada dos atributos

Nas Tabelas 7 e 8 estão apresentados os parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para os componentes produtivos, produtividade da soja e teores de nutrientes foliares e de atributos físicos, químicos e macrofauna de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS). Assim, ficou atestado que os atributos NGV,

NGP, RP1, RP2, UG1, UG2, DS1, DP1, DP2, PT1, PT2, Arg1, Sil1, P1, P2, K2, V1, Anel, Ortho, Hyme, Blatto, Gastro, Lepi, Hemi e Aran, que apresentaram efeito pepita puro, todos os demais atributos apresentaram dependência espacial.

No tocante ao desempenho dos semivariogramas, a relação decrescente deles, analisada pela grandeza do coeficiente de determinação espacial (r^2), foi a seguinte: Arg2 (0,977), Pf (0,971), Are2 (0,951), Are1 (0,949), MCG (0,936), Kf (0,932), V2 (0,861), MO2 (0,842), PG (0,829), DS2 (0,754), K1 (0,753), pH1 (0,707), Nf (0,660), DMP (0,649), pH2 (0,596), MO1 (0,541), DMG (0,520), Coleo (0,498), NVP (0,473) e Sil (0,389). Assim, Arg2, Pf e Are2, foram os atributos de melhor ajuste semivariográfico, que tiveram elevados coeficientes de determinação espacial.

Em relação ao valor do r^2 , o Arg2 indicou ser o atributo o de melhor ajuste semivariográfico, concordando com os dados observados por Souza et al. (2004), quando trabalhando em um Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar, obtiveram o valor de 0,99. Em relação ao ADE, a moderada dependência verificada (ADE=70,5%) e o modelo esférico modelado também concordam com os referidos autores, no qual o ADE observado foi de 68%. (Tabela 7).

Para o segundo (Pf), seu valor do r^2 (0,971), que indicou ser o atributo com o segundo de melhor ajuste semivariográfico, discordado do verificado por Vieira et al. (2010), trabalhando com 63 pontos amostrais espaçados a cada 20 m, foi de 0,664. Em relação ao ADE, o moderado valor (70,4%) assemelhou-se aos obtidos pelos autores, no qual foi de 67,1%. Também o modelo esférico ajustado para o Pf se assemelhou com o constatado por Vieira et al. (2010). O alcance da presente pesquisa (7,2 m) foi menor em relação aos 80 m da referida pesquisa (Tabela 8).

Para o terceiro (Are2), seu valor do r^2 (0,951), que indicou ser o atributo com o terceiro melhor ajuste semivariográfico, discordando do verificado por Amaro Filho et al. (2007), no qual foi de 0,429. Em relação ao ADE, o forte valor verificado (77,3%) concordou com Amaro Filho et al. (2007), no qual foi de 100%. O modelo exponencial ajustado para o Are2 discorda dos observados pelos referidos autores, que encontrou modelo Linear. O alcance do Are2 do presente (91,8 m) foi semelhante aos encontrados por Amaro Filho et al. (2007), que foi de 93,54 m (Tabela 7).

Tabela 7- Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para os componentes de produção e produtividade da soja e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico

Atributos ^(a)	Parâmetros										
	Modelo (^b)	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada		
							%	Classe	A	b	r
<i>γ(h) simples dos atributos da planta</i>											
PG	esf (233)	9,890×10 ¹	2,330×10 ²	28,3	0,829	1,240×10 ⁹	57,6	ME	19,97	0,991	0,556
NVP	e×p (113)	5,900	4,914×10 ¹	11,7	0,473	9,480×10 ¹	88,0	MA	12,37	0,594	0,181
NGV	epp.	1,665×10 ⁻²	1,665×10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	-	-
NGP	epp.	2,070×10 ²	2,070×10 ²	-	-	-	-	-	-	-	-
MCG	e×p (196)	2,310×10 ⁻¹	1,983	14,1	0,936	8,902×10 ⁻³	88,4	MA	11,38	0,284	0,100
<i>γ(h) simples dos atributos físicos do solo</i>											
RP1	epp.	6,129	6,129	-	-	-	-	-	-	-	-
RP2	epp.	9,577	9,577	-	-	-	-	-	-	-	-
UG1	epp.	9,600×10 ⁻⁴	9,600×10 ⁻⁴	-	-	-	-	-	-	-	-
UG2	epp.	6,000×10 ⁻⁴	6,000×10 ⁻⁴	-	-	-	-	-	-	-	-
DS1	epp.	1,032×10 ⁻²	1,032×10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	-	-
DS2	e×p. (72)	3,300×10 ⁻⁴	3,540×10 ⁻³	14,1	0,754	3,471×10 ⁻⁷	90,7	MA	0,57	0,598	0,241
DP1	epp.	2,011×10 ⁻²	2,011×10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	-	-
DP2	epp.	1,772×10 ⁻²	1,772×10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	-	-
PT1	epp.	2,004×10 ⁻³	2,004×10 ⁻³	-	-	-	-	-	-	-	-
PT2	epp.	1,057×10 ⁻³	1,057×10 ⁻³	-	-	-	-	-	-	-	-
Are1	esf. (73)	1,420×10 ²	4,980×10 ²	56,6	0,949	6,138×10 ³	71,5	AL	10,83	0,970	0,659
Are2	e×p. (46)	7,110×10 ¹	3,129×10 ²	91,8	0,951	9,690×10 ²	77,3	AL	20,54	1,058	0,771
Arg1	epp.	2,884×10 ²	2,884×10 ²	-	-	-	-	-	-	-	-
Arg2	esf. (105)	1,287×10 ²	4,360×10 ²	73,8	0,977	2,016×10 ³	70,5	AL	40,45	0,920	0,607
Sil1	epp.	2,488×10 ²	2,488×10 ²	-	-	-	-	-	-	-	-
Sil2	e×p. (109)	1,780×10 ¹	1,392×10 ²	13,2	0,389	1,556×10 ³	87,2	MA	72,44	0,490	0,155
DMG	e×p. (57)	7,780×10 ⁻³	1,636×10 ⁻²	38,4	0,520	3,290×10 ⁻⁵	52,4	ME	0,17	0,709	0,300
DMP	e×p. (58)	4,130×10 ⁻²	8,270×10 ⁻²	43,2	0,649	4,572×10 ⁻³	50,1	ME	0,48	0,612	0,257

PG = produtividade de grãos da soja, NVP = número de vagens por planta, NGV = número de grãos por vagem, NGP = número de grãos por planta, MCG = massa de cem grãos, RP = resistência à penetração, UG = umidade gravimétrica, DS = densidade do solo, DP = densidade da partícula, PT = porosidade total, Are = areia, Arg = argila, Sil = silte, DMG = diâmetro médio geométrico, DMP = diâmetro médio ponderado; ^(b) exp = exponencial, esf = esférico, gau = gaussiano 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.

Tabela 8- Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para atributos químicos, teores de nutrientes foliares da soja e macrofauna de um Latossolo Vermelho Distroférico

Atributos ^(a)	Parâmetros										
	Modelo (^b)	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
<i>γ(h) simples dos atributos químicos do solo</i>											
P1	epp.	1,627×10 ¹	1,627×10 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-
P2	epp.	5,650×10 ¹	5,650×10 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-
MO1	e×p. (91)	4,140×10 ⁻¹	3,317	17,1	0,541	7,660×10 ⁻¹	87,5	MA	1,35	0,920	0,455
MO2	gaus. (50)	1,279	2,559	21,0	0,842	2,250×10 ⁻¹	50,0	ME	-1,23	1,075	0,595
pH1	esf. (54)	1,224×10 ⁻²	2,458×10 ⁻²	35,5	0,707	4,044×10 ⁻⁵	50,2	ME	0,02	0,995	0,765
pH2	e×p. (56)	6,700×10 ⁻³	6,820×10 ⁻²	9,9	0,596	1,334×10 ⁻⁴	90,2	MA	-0,56	1,115	0,284
K1	e×p. (50)	2,349×10 ⁻¹	7,900×10 ⁻¹	12,3	0,753	2,600×10 ⁻²	70,3	AL	-0,02	1,016	0,284
K2	epp.	1,838×10 ⁻¹	1,838×10 ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
V1	epp.	4,791×10 ¹	4,791×10 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-
V2	esf. (54)	3,000×10 ¹	6,011×10 ¹	20,0	0,861	5,930×10 ¹	50,0	ME	0,32	0,997	0,497
<i>γ(h) simples dos teores de nutrientes foliares</i>											
Nf	esp. (84)	1,130	1,256×10 ¹	13,8	0,660	6,240	91,0	MA	7,07	0,774	0,306
Pf	esf. (141)	1,690×10 ⁻²	5,710×10 ⁻²	45,9	0,971	3,386×10 ⁻⁵	70,4	AL	0,11	1,045	0,679
Kf	esf. (84)	3,352	8,770	39,5	0,932	8,42	61,8	AL	-0,93	1,058	0,749
<i>γ(h) simples da macrofauna</i>											
Anel	epp.	1,370	1,370	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortho	epp.	1,346	1,346	-	-	-	-	-	-	-	-
Hyme	epp.	4,512×10 ¹	4,512×10 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-
Blatto	epp.	1,338×10 ¹	1,338×10 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastro	epp.	1,324	1,324	-	-	-	-	-	-	-	-
Lepi	epp.	4,336×10 ⁻²	4,336×10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	-	-
Coleo	gaus. (51)	1,790×10 ⁻¹	1,455	7,6	0,498	1,820×10 ⁻¹	87,7	MA	1,24	-0,113	0,031
Hemi	epp.	9,614×10 ⁻¹	9,614×10 ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-
Aran	epp.	2,267×10 ⁻¹	2,267×10 ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-

^(a) P = fósforo, MO = matéria orgânica, pH = potencial hidrogeniônico, K = potássio, V = saturação por bases, Nf = nitrogênio foliar, Pf = fósforo foliar, Kf = potássio foliar, Anel = anelídeo, Ortho = orthoptera, Hyme = hymenoptera, Blatto = blattodea, Gastro = gastropoda, Lepi = lepidoptera, Coleo = coleoptera, Hemi = hemiptera, Aran = araneae;; ^(b) exp = exponencial, esf = esférico, gau = gaussiano 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.

Nas Tabelas 7 e 8 também estão apresentados os parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens da produtividade da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS). A relação decrescente, analisada pela grandeza do coeficiente de correlação (r), foi a seguinte: Are2 (0,771), pH1 (0,765), Kf (0,749), Pf (0,679), Are2 (0,659), Arg2 (0,607), MO2 (0,595), PG (0,556), V2 (0,497), MO1 (0,455), Nf (0,306), DMG (0,300), pH2 (0,284), K1 (0,284), DMP (0,257), DS2 (0,241), NVP (0,181), Sil2 (0,155), MCG (0,100) e Coleo (0,031). Assim, Are2, pH1, Kf, Pf e o are2 foram as cinco melhores validações cruzadas estabelecidas para os atributos, cujos coeficientes de correlação variaram de 0,771 a 0,659.

Tais atributos foram ranqueados aleatoriamente, apresentando uma sequência relativamente semelhante que aquela estabelecida para a grandeza decrescente dos seus alcances, estabelecidos nas Tabelas 7 e 8. Pode-se ressaltar que o atributo Are2 apresentou o terceiro coeficiente de determinação espacial (r^2) e o maior coeficiente de correlação (r) para a validação cruzada. Dessa forma, quando do ponto de vista da análise geoestatística, o Are2 apresentou-se como um provável indicador da qualidade química do solo. Por outro lado, os coeficientes angulares (b) das validações cruzadas variaram entre -0,113 (Coleo) e 1,115 (pH2).

Nas Tabelas 7 e 8, a relação decrescente dos alcances foi a seguinte: Are2 (91,8 m), Arg2 (73,8 m), Are1 (56,6 m), Pf (45,9 m), DMP (43,2 m), Kf (39,5 m), DMG (38,4), pH1 (35,5 m), PG (28,3 m), MO2 (21,0 m), V2 (20,0 m), MO1 (17,1 m), MCG (14,1 m), DS2 (14,1 m), Nf (13,8 m), Sil2 (13,2 m), K1 (12,3 m), NVP (11,7 m), pH2 (9,9 m) e Coleo (7,6 m). Portanto, nas condições da presente pesquisa, assim como, visando auxiliar pesquisas futuras, na qual os mesmos atributos estejam envolvidos, os valores dos alcances a serem utilizados nos pacotes geoestatísticos, que alimentarão os pacotes computacionais empregados na agricultura de precisão, no geral, não deverão ser menores do que 7,6 m.

4.3.1.2 Mapas de krigagem dos atributos estudados

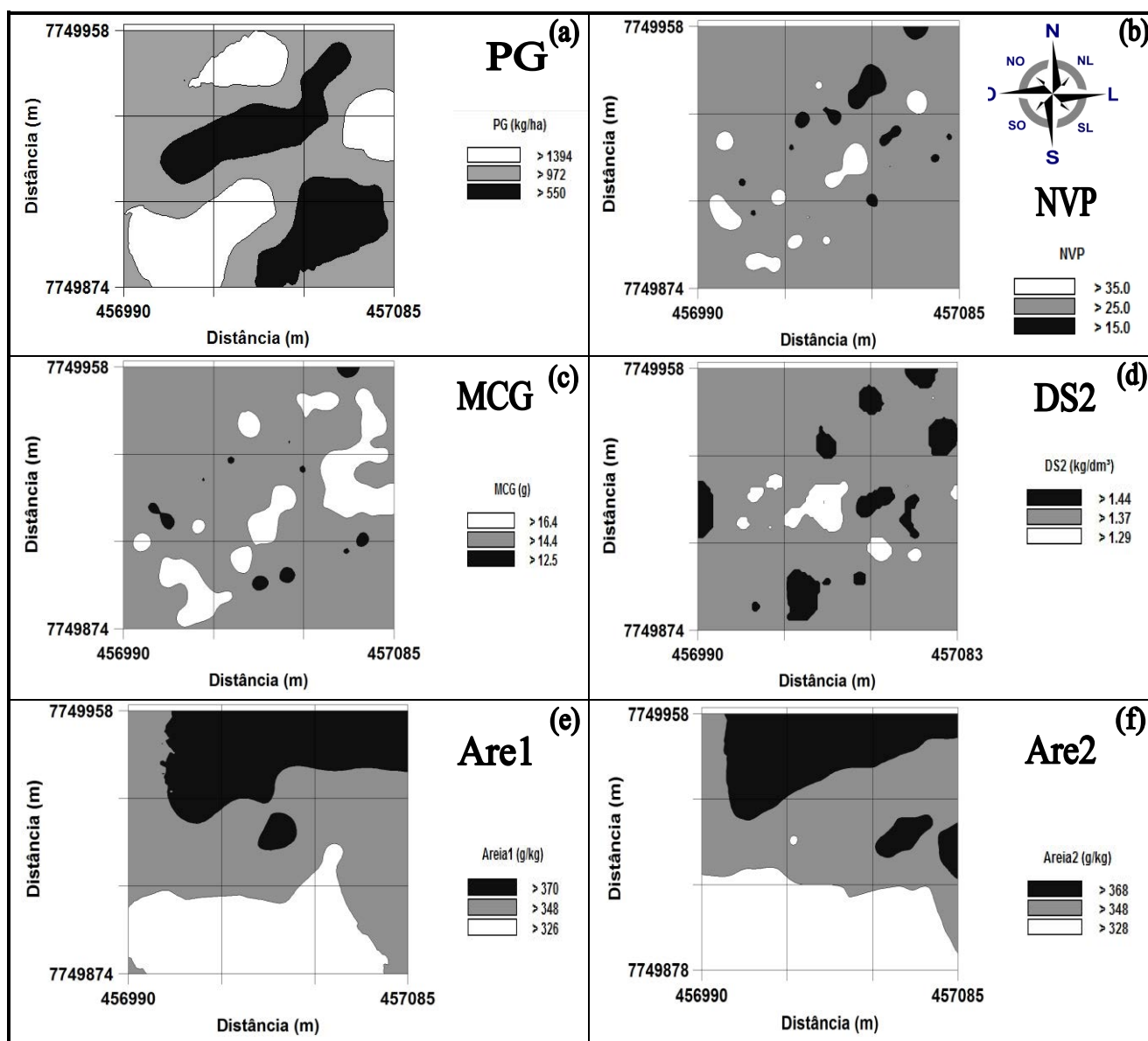
Nas Figuras 4, 5 e 6 são apresentados os mapas de krigagem dos componentes de produção, produtividade da soja e teores de nutrientes foliares e de alguns atributos físicos, químicos e macrofauna de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS). Observa-se o mapa de krigagem da produtividade da soja (PG) que apresentou seu maior valor (1394 kg ha^{-1}) localizados na região sudoeste, norte, parte da região sul,

nordeste e leste do mapa (Figura 4a). Para as demais regiões, tal produtividade variou entre 972-550 kg ha⁻¹.

Em relação aos atributos do solo, teores de nutrientes foliares e macrofauna, observou uma elevada semelhança espacial entre os atributos Are1, Are2, Arg2, DMG, DMP, V%2, Pf e Kf, onde os menores valores da Are1, Are2 e Arg2 localizados nas regiões noroeste, norte e nordeste foram o que representaram os maiores valores de DMG (0,673), DMP (1,39) e V%2 (38,6) (Figuras 4, 5 e 6). E para os Pf e o Kf foram as regiões onde proporcionaram os menores teores foliares, devido ao solo nesta região apresentar os maiores valores de Areia, que proporcionou, consequentemente, os menores valores de V%.

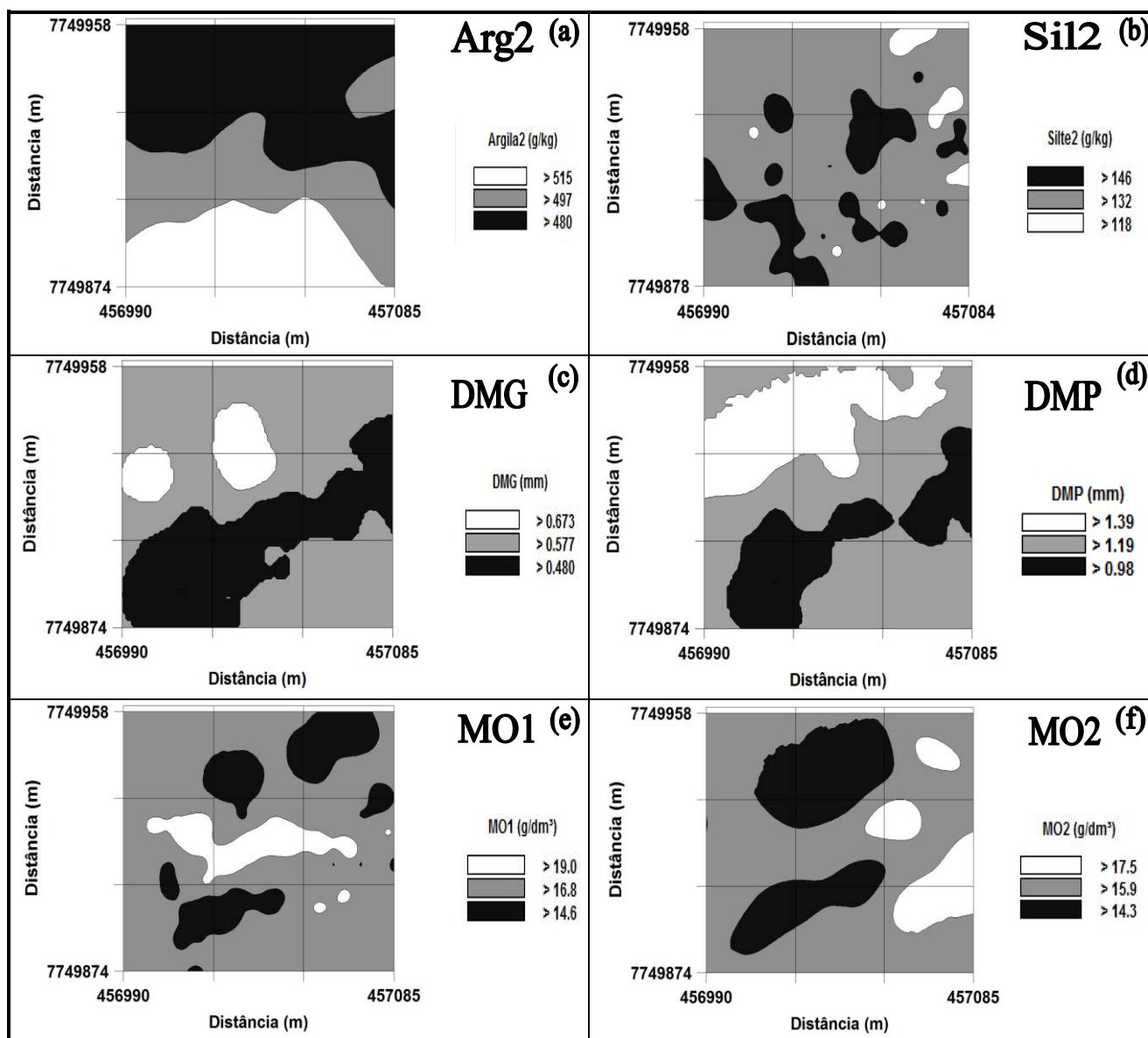
A variabilidade espacial dos atributos do solo, indicaram resultados com teores variando desde a classe baixa até a classe alta. Por outro lado, o teor de MO, o qual é atributo que afeta a disponibilidade de nutrientes às culturas, disponibilidade de água e a capacidade de troca de cátions, além da melhoria nos atributos físicos, estavam abaixo daqueles descritos por Raij et al. (2011), sendo representado em toda a malha experimental. No entanto, a elevada acidez ($4,36 < \text{pH} < 5,07$), a baixa saturação por bases ($\text{V} \% < 40,0 \%$) e a falta de precipitação, evidenciaram a necessidade de realização de calagem e chuva na área, objetivando a homogeneização da fertilidade do solo, de maneira que as culturas agrícolas possam responder satisfatoriamente em produtividade.

Figura 4- Mapas de krigagem dos atributos PG, NVP, MCG da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS) sob sistema plantio direto.



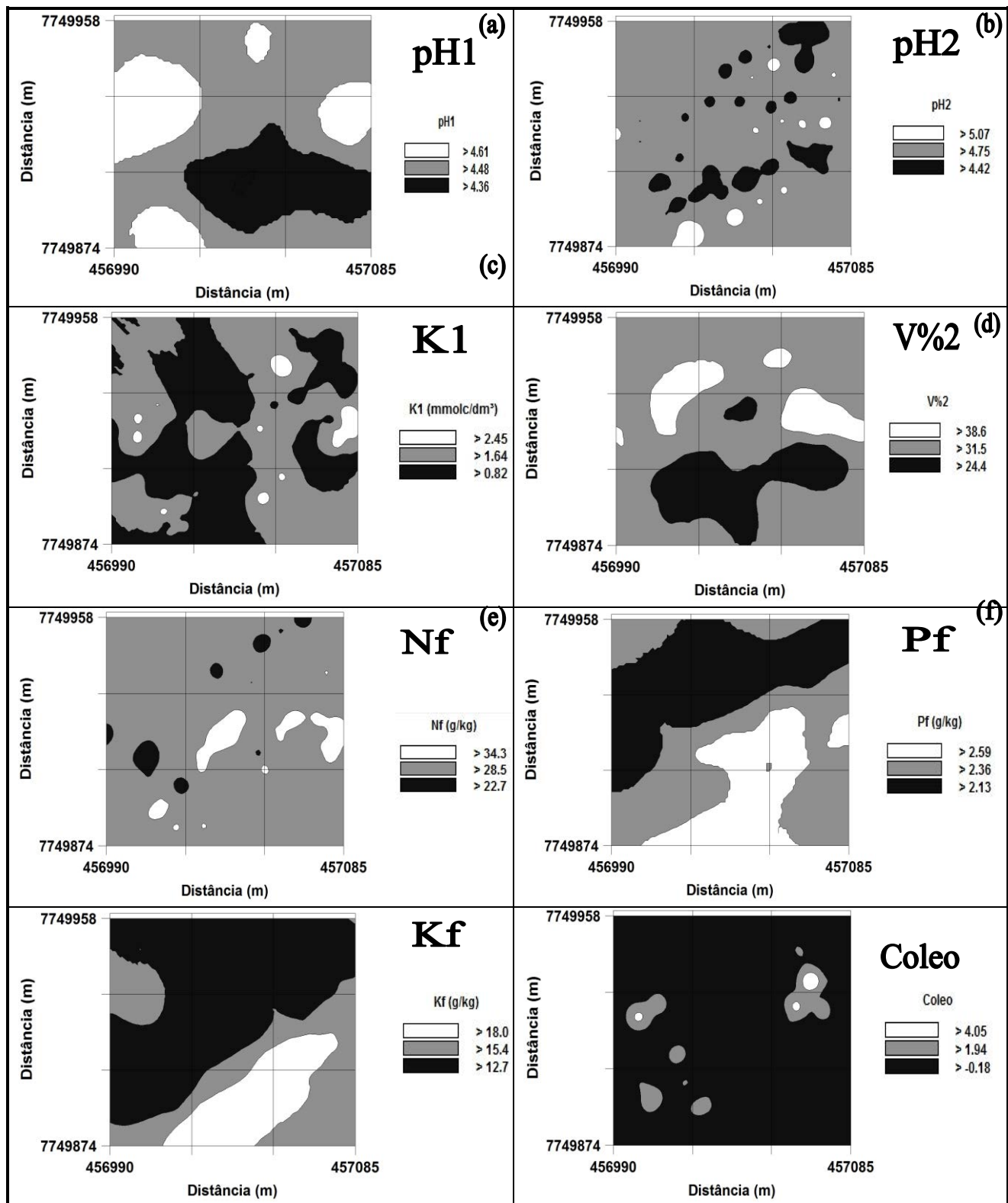
Fonte: do próprio autor

Figura 5- Mapas de krigagem dos atributos Argila2, Silte2, DMG, DMP, MO1 e MO2 de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS) sob plantio direto.



Fonte: do próprio autor

Figura 6- Mapas de krigagem dos atributos pH1, pH2, K1, V%2, Nf, Pf, Kf e Coleo de Selvíria (MS) sob plantio direto.



Fonte: do próprio autor

4.3.1 Análise semivariográfica cruzada

4.3.1.1 Ajuste dos semivariogramas cruzados e mapas de co-krigagem dos atributos

Na Tabela 9 estão apresentados os parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados para a produtividade da soja em função dos teores foliares de P e de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS). Nas Figuras 7, 8, 9 e 10 estão apresentados seus respectivos semivariogramas cruzados e mapas de co-krigagem. Assim, ficou comprovado que, $PG=f(DS2)$, $PG=f(DMG)$, $PG=f(DMP)$ e $PG=f(Pf)$ apresentaram dependência espacial.

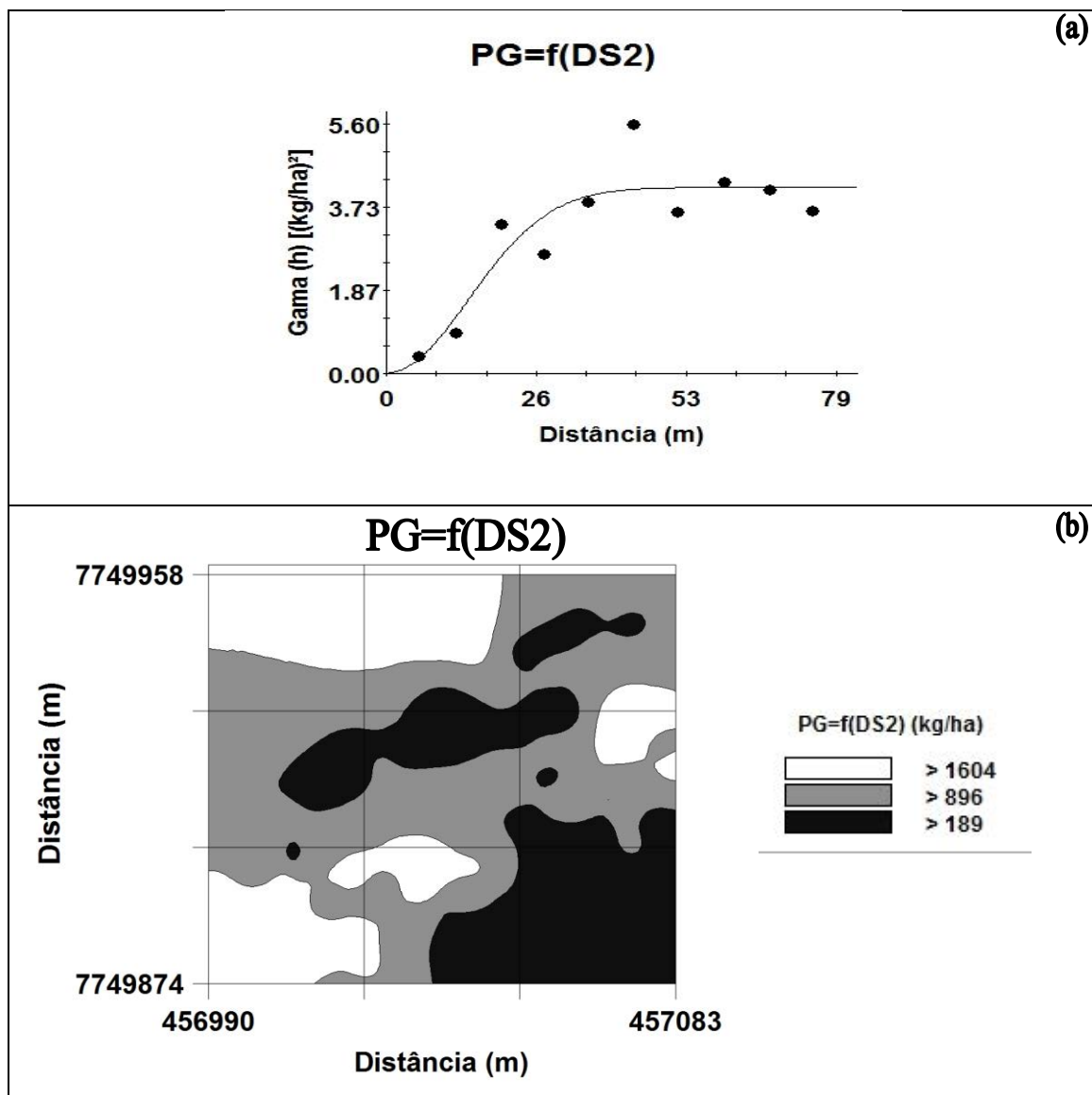
Assim, para os semivariogramas cruzados (Tabela 9), a relação decrescente de grandeza do coeficiente de determinação espacial (r^2), foi a seguinte: 1) [$PG=f(DMP)$] (0,942), [$PG=f(DMG)$] (0,843), [$PG=f(DS2)$] (0,813) e [$PG=f(Pf)$] (0,408). Enquanto a relação decrescente de grandeza do coeficiente de correlação (r), foi: [$PG=f(DS2)$] (0,546), [$PG=f(DMG)$] (0,555), [$PG=f(DMP)$] (0,543) e [$PG=f(Pf)$] (0,524).

Tabela 9- Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados para produtividade da soja em função de teores foliares de P e atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico

Atributos ^(a)	Parâmetros										
	Modelo (^(b))	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
<i>y(h) cruzado planta x planta, solo, foliar e macrofauna</i>											
PG=f(DS2)	gaus. (92)	1,000x10 ⁻²	4,181	35,0	0,813	4,100	99,8	MA	337,96	0,720	0,546
PG=f(DMG)	esf. (104)	-1,800	-2,772x10	29,2	0,843	6,550x10	93,5	MA	335,03	0,729	0,555
PG=f(DMP)	esf. (105)	-3,8	-4,488x10	33,3	0,942	6,530x10	91,5	MA	343,65	0,720	0,543
PG=f(Pf)	esf. (115)	8,400x10 ⁻¹	1,535x10 ¹	28,6	0,408	1,630x10 ²	94,5	MA	373,56	0,696	0,524

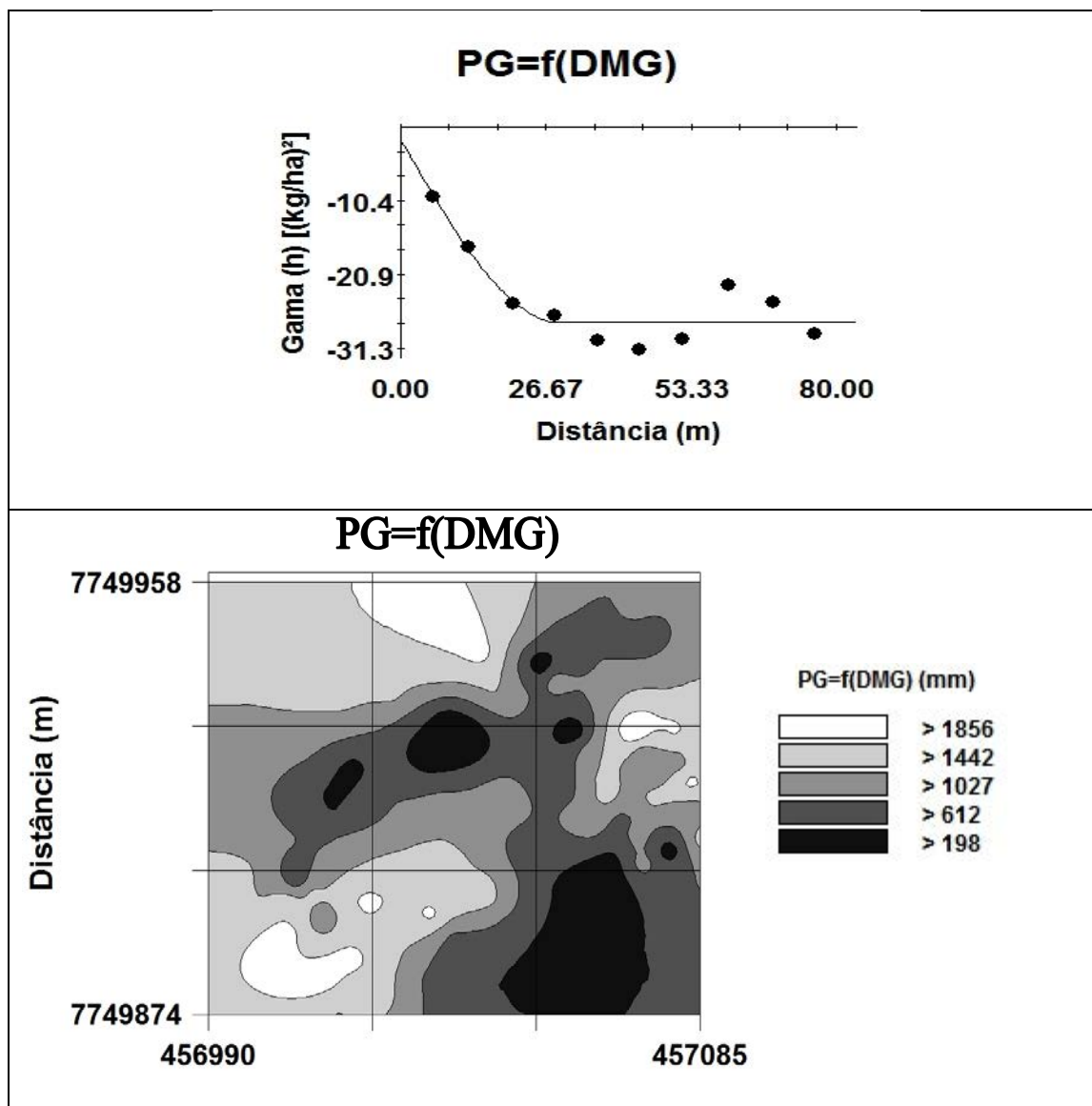
^(a)PG = produtividade de grãos de soja, DS2 = densidade do solo, DMG = diâmetro médio geométrico, DMP = diâmetro médio ponderado, Pf = fósforo foliar; ^(b) gaus = gaussiano, esf = esférico; modelo sucedido por número entre parênteses, significando o número de pares no primeiro lag; ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) ADE = avaliador de dependência espacial.

Figura 7- Semivariograma cruzado e mapa de cokrigagem da produtividade da soja (PG) em função da densidade solo (DS) na camada de 0,10-0,20 m de em um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



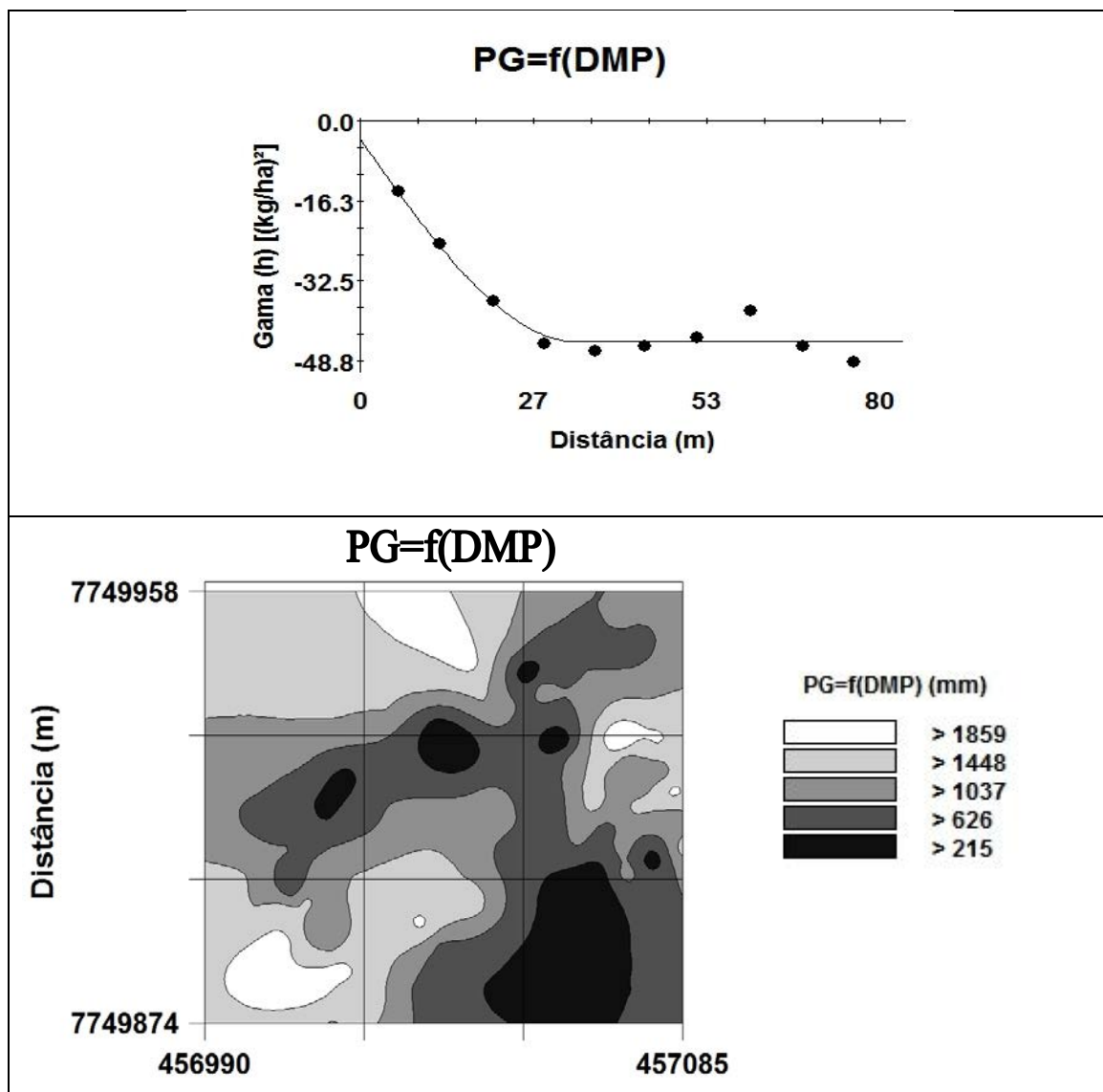
Fonte: do próprio autor

Figura 8- Semivariograma cruzado e mapa de cokrigagem da produtividade da soja (PG) em função do diâmetro médio geométrico de agregados (DMG) em um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



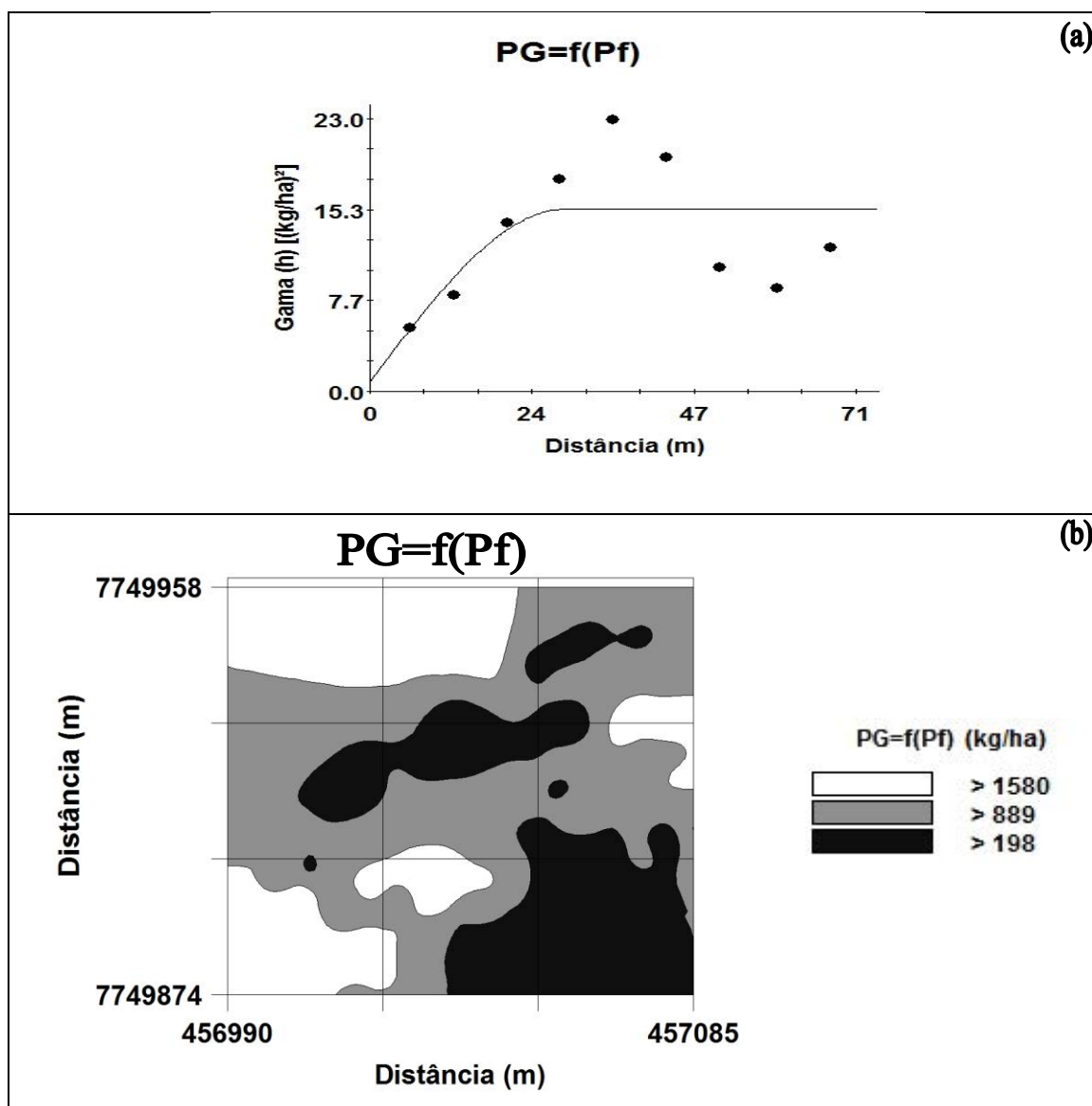
Fonte: do próprio autor

Figura 9- Semivariograma cruzado e mapa de cokrigagem da produtividade da soja (PG) em função diâmetro médio ponderado (DMP) em um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



Fonte: do próprio autor

Figura 10- Semivariograma cruzado e mapa de cokrigagem da produtividade da soja (PG) em função do teor de fósforo foliar (Pf) em um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).



Fonte: do próprio autor

4.4 ANÁLISE MULTIVARIADA DOS DADOS

De todos os atributos estudados, sendo eles, PG, NVP, NGV, NGP, MCG, RP, UG, DS, PT, Are, Arg, Sil, P, MO, pH, K, V%, em ambas as profundidades, DMG, DMP, Nf, Pf, Kf, Anel, Ortho, Hyme, Blatto, Gastro, Lepi, Coleo, Hemi e Aran, a análise multivariada permitiu que apenas a NGV, RP1, DP1, Arg1, MO1, V1, Kf, Hyme, Gastro e Hemi se destacassem como componentes principais (CP1 e CP2). Na análise de componentes principais com as variáveis de maiores escores, foram extraídos dois componentes principais que explicam a variabilidade total dos dados, conforme Tabela 10.

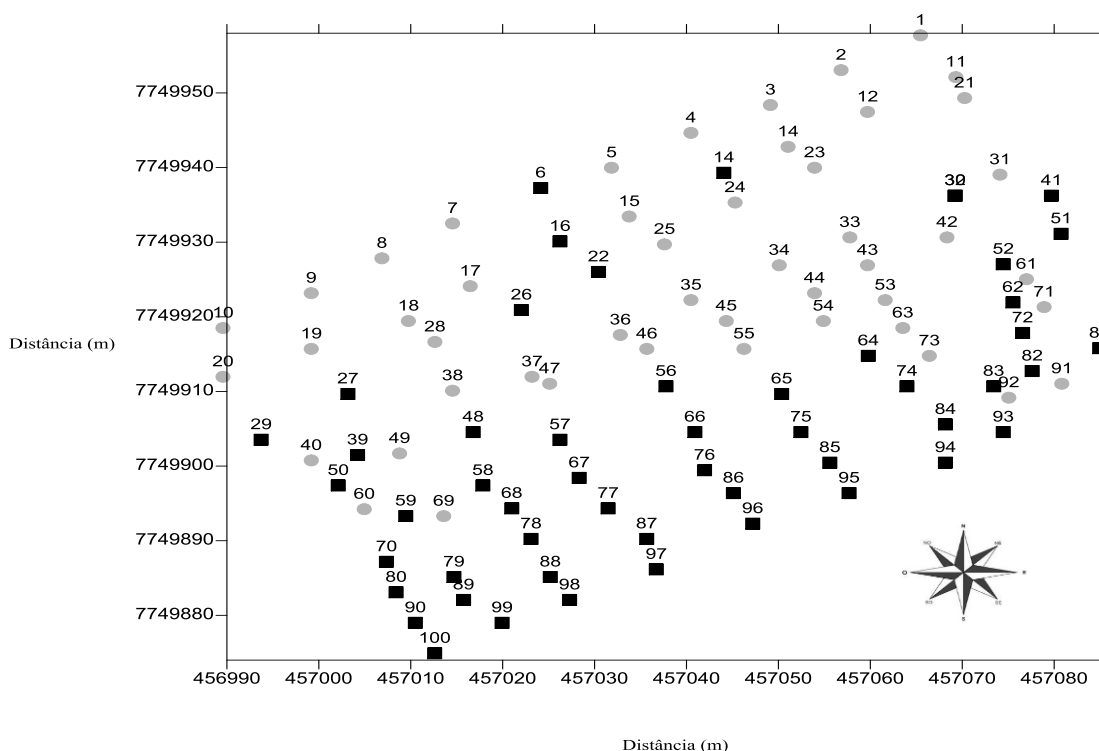
Tabela 10- Resumo dos componentes principais (CP1 e CP2) da análise multivariada do componente da produção de soja (NGV), alguns atributos físicos e químicos (RP1, DP1, Argila1, MO1 e V1) do solo, teor foliar de K e macrofauna (Hyme, Gastro e Hemi) de um Latossolo Distroférrico.

Componentes Principais	CP1	CP2
Autovalor	1,985	1,550
VE (%)	19,853	15,500
Variável	Correlação	
NGV	-0,026	0,441
RP1	0,199	-0,256
DP1	-0,206	0,233
Arg1	0,737*	-0,213
MO1	-0,472	0,113
V1	-0,737*	0,147
Kf	0,519*	0,145
Hyme	0,467	0,037
Gastro	-0,255	-0,718*
Hemi	-0,195	-0,785*

VE = Variância explicada. * correlações consideradas na interpretação do componente principal.

Neste estudo, 19,853% da variabilidade total foi explicada por CP1 e 15,500% por CP2, totalizando 35,353% da variabilidade contida nos dados originais. O CP1 foi constituído pelos atributos Arg1, V1 e Kf para a profundidade de 0,00-0,10 m, onde o Arg1 e Kf se correlacionaram de maneira positiva, enquanto V1 se correlacionou negativamente. O CP2 foi constituído apenas pelo Gastro (caramujo) e Hemi (percevejo) que apresentaram correlação negativa, onde o número elevado dessas classes em campo, é considerado como praga, pois estará influenciando para diminuição da produtividade.

Figura 11- Distribuição espacial dos grupos gerados do NGV e teores de nutrientes foliares da soja e de atributos físicos, químicos e macrofauna de um Latossolo Distroférico.



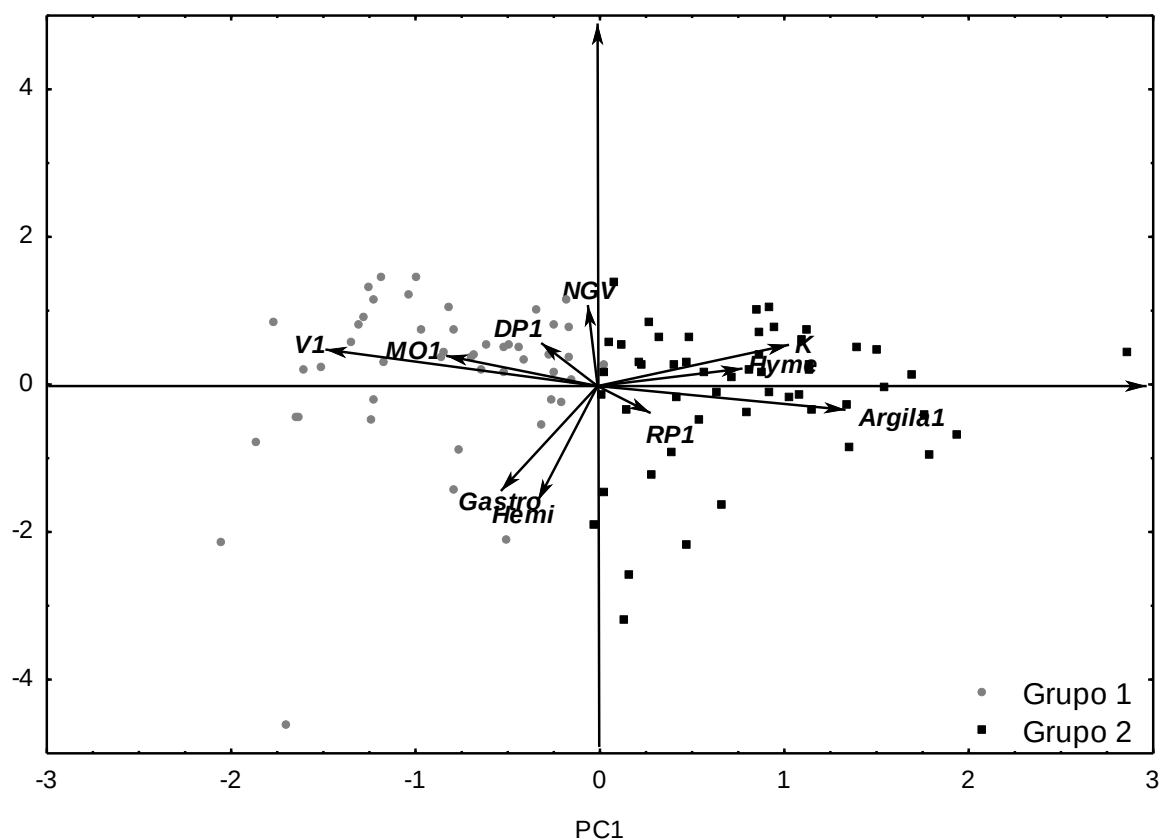
Fonte: do próprio autor

A representação gráfica biplot (entre CP1 e CP2) (Figura 12) permitiu caracterizar as variáveis que mais discriminaram na formação dos agrupamentos 1 e 2, sendo os atributos NGV (-0,026), DP1 (-0,206), MO1 (-0,472), V1 (-0,737), Gastro (-0,255) e Hemi (-0,195) permitiram discriminar o agrupamento 1, localizados à esquerda da CP1 (correlações negativas), enquanto o agrupamento 2, os atributos responsáveis pela discriminação foram o RP1 (0,199), a Arg (0,737), o Hyme (0,467) e o Kf (0,519). Assim, o agrupamento 1 apresentou os maiores valores de NGV, DP1, MO1, V1, Gastro e Hemi, enquanto o agrupamento 2, caracterizou-se pelos maiores valores de RP1, a Arg, o Hyme e o Kf. A Figura 11 representa a variação espacial no terreno dos dois grupos, com isso, do total de 100 pontos amostrados, 51% representam o agrupamento 1, enquanto, 49% representam o agrupamento 2.

Observa-se também que a região sul do mapa (Figura 11) encontra-se uma maioria de pontos amostrados representando o agrupamento 2, agrupamento este que proporcionou o menor NGV. Enquanto o agrupamento 1, a maioria dos pontos

amostrados se encontram ao norte da Figura 11, onde houve o maior NGV, que consequentemente, uma maior produtividade de grãos da soja.

Figura 12- Dispersão (*gráfico biplot*) dos caracteres do NGV e teores de nutrientes foliares da soja e de atributos físicos, químicos e macrofauna de um Latossolo Distroférico.



Fonte: do próprio autor

O dendrograma (Figura 13) obtido pela análise de agrupamentos hierárquica realizado com os dez componentes principais, onde a variação expressiva nos valores de distância euclidiana entre os acessos, para o conjunto de variáveis consideradas, torna atributos fazer uma divisão de dois grupos de parcelas homogêneas. Silva et al. (2010) estudando a variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo cultivado com café também encontraram a formação de dois grupos de parcelas homogêneas, quando estudados somente os componentes principais.

A variação encontrada no presente trabalho foi de 21,5 para 33 (Figura 13) e permitiu uma divisão exata dos acessos em dois grupos. Para a confirmação da ordenação obtida na análise de agrupamentos hierárquica, aplicou-se o método de agrupamentos

não-hierárquico. Os resultados confirmaram a ordenação e, ainda, conforme análise de variância, todas as variáveis foram importantes para essa ordenação ($p < 0,01$) (Tabela 10).

Tabela 11- Médias do atributo de planta (NGV), solo (RP1, DP1, Argila1, MO1 e V1), teor foliar (Kf) e macrofauna (Hyme, Gastro e Hemi) dos grupos formados pela análise não-hierárquica de agrupamentos k-means.

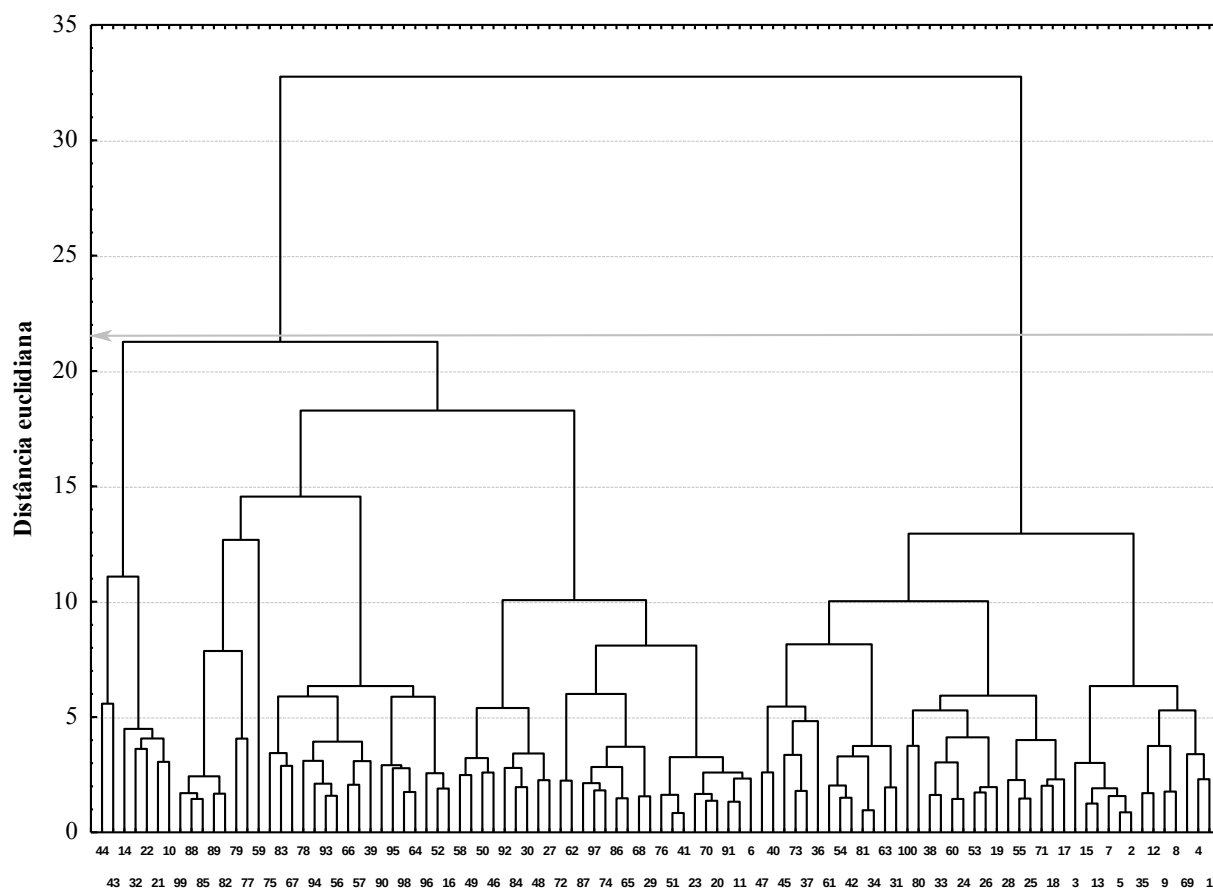
Grupos	Variáveis									
	NGV	RP1	DP1	Argila1	MO1	V1	Kf	Hyme	Gastro	Hemi
1	1.93	5.26	2.71	487.20	18.44	38.36	14.25	0.63	0.58	0.69
2	1.93	6.74	2.64	508.68	16.65	30.89	17.23	4.10	0.35	0.50
Média geral	1.93	6.00	2.68	497.94	17.55	34.63	15.74	2.36	0.46	0.59
F	0,158	9,880**	6,315*	81,12**	22,30**	40,21**	33,73**	7,17**	0,61	0,52

**: diferença significativa a 0,01 % de probabilidade.

Essa divisão em grupos mostrou um resultado muito importante que foi a ordenação dos acessos segundo o NGV. Onde, no agrupamento 1 e 2 não houve diferença significativa nos valores de NGV. Porém para os atributos DP1, MO1, V1, Gastro e Hemi obtiveram os maiores valores no agrupamento 2 e os menores valores no agrupamento 1. Já para o Kf, Arg1, RP1 e Hyme, foi o inverso, onde maiores valores obtidos foram no agrupamento 1 e menores valores no agrupamento 2, para a profundidade de 0,00-0,10 m (Figura 13).

Em relação às médias dos atributos (Tabela 11), verificou-se que o solo apresentou nos agrupamentos 1 e 2 valores de teor de matéria orgânica de respectivamente de 18,44 e 16,65 g dm⁻³, valores considerados baixos para solos da região do cerrado (LOPES; COX, 1977). Para a RP1, os valores médios apresentados para cada agrupamento foram muito alto, sendo o ideal em média de 2,0 MPa. Para os teores de potássio foliar os valores obtidos para ambos os agrupamentos foram baixos, inferiores à 22 g kg⁻¹ (MALAVOLTA, 2006).

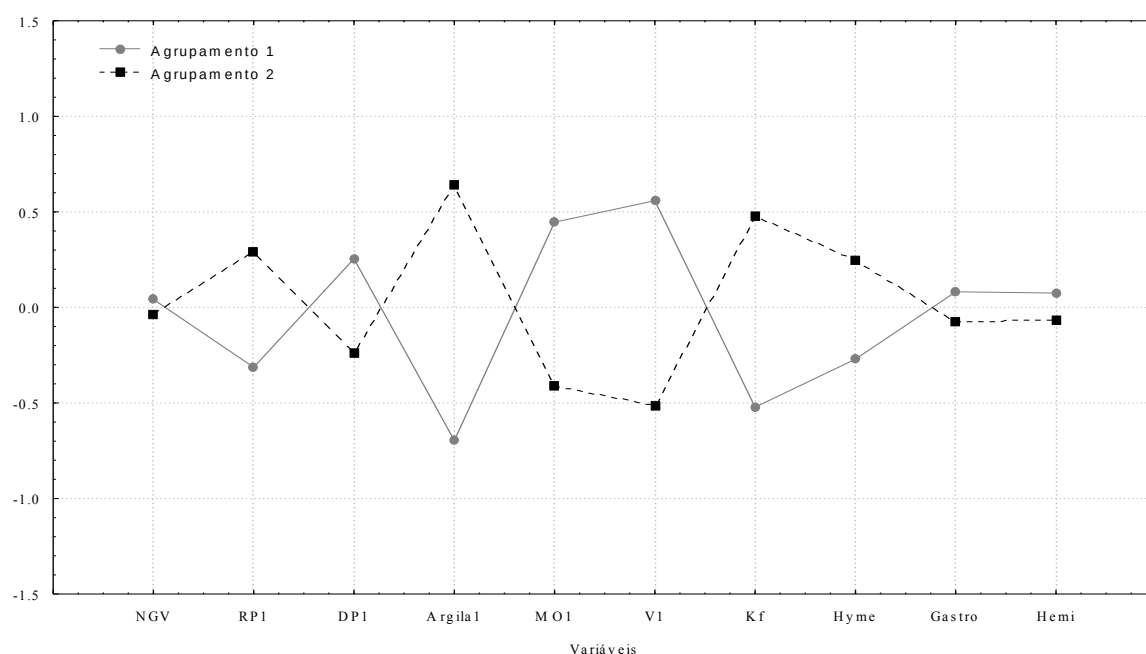
Figura 13- Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo o componente produtivo da soja e atributos físicos, químicos, teores foliares e macrofauna.



Fonte: do próprio autor

A Figura 14 apresenta as médias padronizadas do número de grãos por vagem da soja e alguns atributos físicos, químicos, teores de nutrientes foliares e macrofauna do solo para cada grupo, segundo análise de agrupamentos não-hierárquica (k-means). Observou-se que, na condição de uma elevada quantidade de matéria orgânica houve-se uma diminuição nos valores de RP e V%.

Figura 14- Médias padronizadas do Componente de produção da soja (NGV) e do NGV, RP1, DP1, Argila1, MO1, V1, Kf, Hyme, Gastro e Hemi para cada grupo, segundo análise de agrupamentos não-hierárquica k-means.



Fonte: do próprio autor

5 CONCLUSÕES

A maior variabilidade dos atributos físicos analisadas pelo coeficiente de variação ocorreram na camada de 0,00-0,10 m, enquanto que para os atributos químicos foi na camada de 0,10-0,20 m

A estimativa da $PG=f[Pf]$ foi devido a compactação e a falta de água no solo, apresentando menor difusão e absorção de P pela planta, que foi responsável pelo abortamento de vagens e grãos, conferindo a baixa produtividade de grãos de soja.

- Os mapas de krigagem e co-krigagem confeccionados permitiram visualizar a distribuição dos elementos físicos, químicos, teores de nutrientes foliares e macrofauna estudados e a influência nos parâmetros de produtividade da soja cultivado em Selvíria – MS, tornando uma importante ferramenta para o planejamento da produção dessas áreas.

- Espacialmente falando, a produtividade de grãos da soja pôde ser estimada por meio da co-krigagem com a DS2, DMG, DMP do solo e Pf foliar. Assim, valores mínimos e máximos referentes aos tais atributos indicaram sítios com as mais elevadas ou menores produtividades de grãos da soja.

-A análise multivariada permitiu que apenas a NGV, RP1, DP1, Arg1, MO1, V1, Kf, Hyme, Gastro e Hemi se destacassem como componentes principais, sendo considerados os mais importantes atributos para o manejo do solo dessa área.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTANELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.19, n. 1, p.115-119, 1995.
- ALHO, L. C.; CAMPOS, M. C. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 3, p. 246-254, 2014.
- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. Alterações de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 4, p. 695-702, 2001.
- AMARO FILHO, J.; RONNIE NEGREIROS, R. F. D.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 415-422, 2007.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N.; JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 867-874, 2000.
- ANDREOTTI, M.; CARVALHO, M. P.; MONTANARI, R.; BASSO, F. C.; PARIZ, C. M.; AZENHA, M. V.; VERCESE, F. Produtividade da soja correlacionada com a porosidade e a densidade de um Latossolo Vermelho do cerrado brasileiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 3, p. 520-526, 2010.
- ARMESTO, M. V. **Variabilidade espacial e temporal da erosión en solos de cultivo**. 1999. 118 f. Tese (Doutoral)- Faculdade de Ciências, Universidade Da Coruña, La Coruña.
- ARRUDA, O.G. **Uso de resíduo da extração de celulose e o impacto em solo de Cerrado cultivado com eucalipto e espécie arbórea nativa**. 2012. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 843-849, 2005.

BERNARDI, A. C. C.; CARMO, C. A. F. S.; MACHADO, P. L. O.; SILVA, C. A.; VALENCIA, L. I. O.; MEIRELLES, M. S. **Variabilidade espacial de teores de nutrientes em folhas de soja como ferramenta para agricultura de precisão**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 5 p. (Comunicado Técnico, 17).

CANELLAS, L. P.; BALDOTTO, M. A.; BUSATO, J. G.; MARCIANO, C. R.; MENEZES, S. C.; SILVA, N. M.; RUMJANEK, V. M.; VELLOSO, A. C. X.; SIMÕES, M. L.; MARTIN-NETO, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 331-340, 2007.

CARVALHO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; ATHAYDE, M. L. F.; ARF, O.; EUSTÁQUIO DE SÁ, M. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 47-53, 2004.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 1329-1339, 2007.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, N.; MARQUES, J. J. G. S. M.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; VENEGAS, V. H. A. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 60 p. v. 1. n. 1.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos oitavo levantamento**. Brasília: Local de Edição, 2015. v. 2, p. 1-118. (Safra 2014/15, 8).

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p.1013-1021, 2004.

CORTEZ, J. W.; FERNANDES, A. L. T.; SILVA, R. P.; CARVALHO FILHO, A.; FURLANI, C. E. A. Métodos multivariados na avaliação dos atributos físicos do solo na cafeicultura irrigada. **Engenharia na agricultura**, Viçosa-MG, v. 19, n. 2, p. 132-140, 2011.

COUTO, E.G. **Variabilidade espacial de propriedades do solo influenciado pela agricultura em escala regional e local no sul do estado do Mato Grosso**. 1997. 183 f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; NOGUEIRA, D. C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F. L.; ASSIS, J. T. & OLIVEIRA, M. S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n.1, p. 8-19, 2011.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M. % MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; MONTANARI, R.; ANDREOTTI, M. Strategy of specification of management areas: rice grain yield as related to soil fertility. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 1, p. 45-54, 2013.

DEMARCHI, J. C.; PERUSI, M. C.; PIROLI, E. L. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 4, n. 2, p. 7-29, 2011.

DEUTSCH, C.V.; JOURNEL, A.G. **GSLIB**: geostatistical software library and user's guide. New York: Oxford University, 1998. 369p. 1CD-ROM.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; VIEIRA, S. R.; FRACASSO, J. V.; GREGO, C. R. Uso da geoestatística na avaliação da distribuição espacial de *Mahanarva Fimbriolata* em cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p. 449-455, 2007.

ELTZ, F.L.P.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas Propriedades físicas e químicas de um Latossolo brunoálico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 259-267, 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA– EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja Região Central do Brasil 2004**. [S.l.: s.n.], 2004. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: 7 maio 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA– EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA– EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA– EMBRAPA. **Evolução e Perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 68 p.

FAHL, J. I.; CAMARGO, M. B. P.; PIZZINATTO, M. A.; BETTI, J. A.; MELO, A. M. T.; DE MARIA, I. C.; FURLANI, A. M. C. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 6. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1998. 393 p. (Boletim técnico, 200).

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M. SILVA, S. W.; SEDYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa- MG, v. 27, n. 3, p. 1097-1104, 2003.

FARACO, M. A. URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, E. A. A.; JOHANN, J. A.; BORSSOI, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 463-476, 2008.

FERNANDES, C.; MURAOKA, T. Absorção de fósforo por híbridos de milho cultivados em solo de cerrado. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 781-787, 2002.

FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 5, p. 641-648, 2008.

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**, Maringá, v. 27, n.1, p. 61 – 67, 2005.

GAMMA DESIGN SOFTWARE: GS+. **Geostatistics for environmental sciences**. 7. ed. Michigan: Gamma Desing Software, 2004. 159 p.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ, J.; TEIXEIRA, T. G. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 4, p. 1234-1244, 2014.

HAIR JUNIOR, J. F.; ANDERSON R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 597 p.

HARIDASAN, M. Competição por nutrientes em espécies arbóreas do cerrado. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (Org.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p.167-178.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo – planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264 p.

LIMA, C. G. R; CARVALHO, M. P.; MELLO, L. M. M.; LIMA, R. C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e densidade do solo de Pereira Barreto (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p.1233-1244, 2007.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, M. S.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 5, p. 517–526, 2014.

LOPES, A. S.; COX, F. R. A survey of the fertility status of surface soils under cerrado vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 41, n. 1, p.742–747, 1977.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638p.

MARTEL, J. H. I.; FERRAUDO, A. S.; MORÔ, J. R.; PERECIN, D. Estatística multivariada na discriminação de raças amazônicas de pupunheiras (*Bactris gasipaes* Kunth) em Manaus (Brasil). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 115-118, 2003.

MIQUELONI, D. P.; GIANELLO, E. G.; BUENO, C. R. P. Variabilidade espacial de atributos e perda de solo na definição de zonas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 1, p. 18-28, 2015.

MOLIN, J.P. Geração, interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: BOREM, A.; GIÚDICE, M.P. del; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R. do; GOMIDE, R.L. **Agricultura de precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p. 237-257.

MONTANARI, R.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVON, F. C.; LOVERA, L. H.; HONORATO, M. A. O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 908-916, 2010.

MONTANARI, R.; SOUZA, G. S. A.; PEREIRA, G. T; MARQUES JÚNIOR, J.; SIQUEIRA, D. S.; SIQUEIRA, G. M. The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v. 35, n. 1, p.1234-1239, 2012.

MONTANARI R.; PANACHUKI, E.; LOVERA, L. H.; CORREA, A. R.; OLIVEIRA, I. S.; QUEIROZ, H. Á.; 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 o Solo**, Viçosa, MG, v. 39, n. 2, p. 385-96, 2015.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 839-847, 2006.

NAVARRO JUNIOR, H. M.; COSTA, J. A. Contribuição relativa dos componentes do rendimento para produção de grãos em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 269-274, 2002.

NEGREIROS NETO, J. V; SANTOS, A. C.; GUARNIERI, A.; SOUZA, D. J. A. T.; DARONCH, D. J.; DOTTO, M. A.; ARAÚJO, A. S. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 193-204, 2014.

NOVAES, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2007. 1017 p.

OLIVEIRA FILHO, F. X.; MIRANDA, N. O.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, P. C. M.; MESQUITA, F. O.; COSTA, T. K. G. Zona de manejo para preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 2, p. 186–193, 2015.

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

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: Fundação Escola de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002. 309 p.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.

RESENDE, A.V.; KRAHL, L. L.; SHIRATSUCHI, L. S.; GOEDERT, W. J.; DOWICH, I. **Diagnóstico nutricional de uma lavoura de soja a partir de informações georreferenciadas**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 30 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 145).

REYNOLDS, W. D.; DRURY, C.F.; YANG, X.M.; TAN, C.S. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. **Geoderma**, v. 146, n. 3-4, p. 466-474, 2008.

RODRIGUES, M. S.; RAMOS, R. R. D.; AZEVEDO, T. P.; PATROCÍNIO FILHO, A. P.; OLIVEIRA, L. G. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em área de capineira irrigada no semiárido. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p.161-166, 2014.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F. F. S.; GIOIA, M. T. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 283-293, 2009.

SANTOS, T. E. M.; SILVA, D. D; MONTENEGRO, A. A. A. Temporal variability of soil water content under different surface conditions in the semiarid region of the Pernambuco state. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 1733-1741, 2010.

SANTOS, E. O. J.; GONTIJO, I.; SILVA, M. B. Spatial variability of soil acidity attributes and liming requirement for conilon coffee. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 75-283, 2014.

SCHAFFRATH, V. R.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GONÇALVES, A. C. A. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1369-1377, 2008.

SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. **SAS system for elementary statical analysis**. 2. ed. Cary: SAS, 1997. 441 p.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; OLIVEIRA, M. C. N. de; WOBETO, C.; ALMEIDA, J. Determinação da relação ótima entre Ca, Mg e K para a cultura da soja em solos do Paraná. In: EMBRAPA SOJA, **Resultados de pesquisa de soja 1991/92**. Londrina: Embrapa Soja, 1999a. 816 p. (Documentos, 138).

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; KLEPKER, D. O cobre (Cu) na cultura da soja: diagnose foliar. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23., 2001, Londrina. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2001. p. 95. (Documentos, 157).

SILVA, A. S.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 34, n. 1, p. 15-22, 2010.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. Atributos físicos do solo e sua relação espacial com a produtividade do café arábica. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 395-403, 2013.

SOUZA, L.S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. 1992. 162 f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 77-86, 1998.

SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, G. L.; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 2, p. 699-707, 2001.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um Latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p.133-139, 2003.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 309-319, 2004.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. 2.e d. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985. 81 p.

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, n.1, v. 15, p. 229-235, 1991.

UNGER, W. P.; KASPAR, T. C. Soil compaction and root growth: a review. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, n. 2, p. 759-766, 1994.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M. (Ed.). **Agricultura de precisão**. Viçosa- MG: [s.n.], 2000. p.65-75.

VIEIRA, S. R.; GUEDES FILHO, O.; CHIBA, M. K.; MELLIS, E. V.; DECHEN, S. C. F.; MARIA, I. C. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um Latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 1503-1514, 2010.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p.1000-1007, 2007.