



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS**  
**CURSO AGRONOMIA**



**EDUARDO HENRIQUE DIAS DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE SOJA POR MEIO DE TÉCNICAS  
DE GEOPROCESSAMENTO**

**CHAPADINHA - MA**

**2019**

**EDUARDO HENRIQUE DIAS DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE SOJA POR MEIO DE TÉCNICAS  
DE GEOPROCESSAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de  
Agronomia da Universidade  
Federal do Maranhão para  
obtenção do grau de Bacharel em  
Agronomia.

Orientador: **Prof. Dr. José Roberto Brito Freitas**

**Chapadinha - MA**

**2019**

**Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo (a) autor (a).  
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA**

Dias da Silva, Eduardo Henrique.

AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE SOJA POR MEIO DE TÉCNICAS  
DE GEOPROCESSAMENTO / Eduardo Henrique Dias da Silva. -2019.

31 P.

Orientador (a): Prof. Dr. José Roberto Brito Freitas.

Monografia (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal  
do Maranhão, CCAA-UFMA, 2019.

1. Geoestatística. 2. Krigagem. 3. Soja. I. Brito  
Freitas, Prof. Dr. José Roberto. II. Título.

**EDUARDO HENRIQUE DIAS DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE SOJA POR MEIO DE TÉCNICAS  
DE GEOPROCESSAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de  
Agronomia da Universidade  
Federal do Maranhão para  
obtenção do grau de Bacharel em  
Agronomia.

**Aprovado em:**     \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. José Roberto Brito Freitas**

Universidade Federal do Maranhão

(Orientador)

---

**Prof. Geziel Sousa Silva**

Serviço Nacional de Aprendizagem Rural

(Avaliador)

---

**Eduardo Rego Chaves**

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

(Avaliador)

*Ao meu DEUS pelo dom da vida, inteligência e discernimento.*

*Aos meus pais Raimundo Rodrigues da Silva (in memoriam) e Maria Ivaneide Aroeira Dias pela criação, incentivo, dedicação e pelo exemplo de amor incondicional.*

*As minhas irmãs Juliana e Tayne e meus irmãos Paulo Victor e Matheus por todos os momentos de alegria e por acreditar em meu sucesso.*

*Com todo meu amor dedico essa monografia.*

## AGRADECIMENTOS

Á Deus, por sempre está me guiando e me dando força e sabedoria para a concretização deste sonho.

Ao meu Pai Raimundo Rodrigues da Silva (*in memoriam*) e a minha mãe Maria Ivaneide Aroeira Dias que sempre me ensinaram grandes valores e não mediram esforços para que este sonho fosse realizado.

Á toda minha família que contribuiu de alguma forma para a realização deste momento e pôr está sempre presente nos momentos difíceis e alegres. Obrigado pela paciência e pela amizade.

À comunidade da Igreja Adventista do Sétimo Dia, pois foi nesse meio que aprendi o valor da minha fé e onde aprendi a refletir, duvidar e encarar a realidade deste mundo e a ver a vida de um jeito diferente.

Em especial ao Prof. Dr. José Roberto Brito Freitas por ser meu orientador no desenvolvimento deste projeto e também por ser uma pessoa de admirável caráter, um exemplo de companheirismo, humildade, respeito, amizade e transmissão de seus conhecimentos. Por ter se empenhado e me ajudado sobre tudo por acreditar na minha capacidade. Que Deus retribua imensamente o quanto fez e faz não só por mim, mas por todos em sua volta.

Ao Engenheiro Agrônomo Geziel Sousa Silva, sou grato por ter se disposto prontamente a ajudar nesse projeto e pela amizade, confiança contribuição neste profeto

Aos amigos que me ajudaram diretamente durante o desenvolvimento do projeto: Tiago Santos e Nairon Martins

Principalmente ao Prof. Dr. José Roberto Brito Freitas pela orientação, apoio constante, incentivo, ensinamentos, dedicação e amizade que só me fizeram crescer, ensinando-me coisas que vão me ajudar muito no futuro.

Aos amigos (as): Tiago Santos, Raimundo Sergio, Jardson Murilo, Bianca Costa, Juniel Linhares e Nairon Martins, Wellington Ramones e Janairo Martins.

Aos meus irmãos Paulo Victor e Matheus e minhas irmãs Juliana e Tayne e a todos que contribuíram financeiramente para realização deste sonho.

Aos amigos de sala: Tiago Santos, Raimundo Sergio, Jardson Murilo, Bianca Costa, Valdir Neto, Carla Buaes, Joabe Luan, Thiago Irving, Laurinete Teixeira, Pablo Oliveira, Joelmar, Danilo Portela, Darciane, Ludhana Veras e Felipe Marques.

Ao meu amigo e funcionário da Coordenação do curso de Agronomia Cleudomir Alves Igreja, por toda força e incentivo que tanto contribuíram para o termino deste projeto.

A minha namorada katrine Oglenda por sempre está ao meu lado, por todo o incentivo, apoio, força e paciência na reta final desse trabalho.

Aos professores: Maria Moura, Maryzelia Furtado, Claudio Gonsalves, Kalil de Menezes e a todos os professores que participaram da minha vida acadêmica e que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste sonho.

A todos aqueles que de alguma forma participaram da minha vida durante essa formação. Que Deus nos abençoe e conceda tudo que ansiamos.

Muito obrigado!

*“E Deus limpará de seus olhos toda a lágrima; e não haverá mais morte, nem pranto, nem clamor, nem dor; porque já as primeiras coisas são passadas”.*

*Apocalipse 21:4.*

## RESUMO

A cultura da soja é uma das principais commodities de exportação. O Brasil, em poucas décadas, passou a ser um grande produtor de soja, com 119,3 milhões de toneladas na safra 2017/2018, correspondendo a 30% da produção mundial. A ocupação dos cerrados da região Centro-Oeste para o cultivo de grãos levou a uma busca por novas áreas com terras, mais baratas. Diante desse contexto, a frente de ocupação seguiu para as regiões Norte e Nordeste, principalmente no Maranhão, Piauí, Bahia e Tocantins, dando origem a uma região chamada pelos produtores de MATOPIBA. No Maranhão a Região Sul do estado foi onde primeiro a cultura da soja se estabeleceu, seguindo para região Leste por apresentar também condições similares de plantio, passando a se configurar como um novo polo de produção de soja nos últimos anos. Nesse contexto, a geoestatística são um a ferramenta adequada para a análise de dados que estão correlacionados espacialmente (PINHEIRO et al.2008). O objetivo foi analisar a distribuição espacial da soja na área de cultivo e a relação da variabilidade de produtividade em relação aos atributos químicos do solo. A área pesquisada localiza-se na Fazenda Condor, situada no município de Brejo, região Leste do Estado do Maranhão. Foram marcados e georreferenciados com GPS, 142 pontos amostrais espaçados de 20 em 20 m em uma área de 180×180 m, em lavoura de soja. Foram coletadas 6 plantas com respectivas raízes juntamente com solo tomadas ao redor do ponto de amostra para quantificação da produtividade e atributos químicos da área. As amostras de solo foram processadas pela técnica de Jenkins (1964). Foram avaliados o pH, matéria orgânica, fósforo disponível e produtividade. Utilizando - se técnicas de geoestatística foi possível mapear a área permitindo assim identificar zonas de manejo específico, com maiores e/ou menores valores de determinada variável, sendo essencial ao adequado desenvolvimento da cultura da soja.

**Palavras chave:** Geoestatística; krigagem; química do solo

## ABSTRACT

Soybean crop is one of the main export commodities. Brazil, in a few decades, became a major soy producer, with 119.3 million tons in the 2017/2018 crop, corresponding to 30% of world production. The occupation of the Midwestern savannahs for grain cultivation led to a search for new areas with cheaper land. Given this context, the occupation front went to the North and Northeast, mainly in Maranhão, Piauí, Bahia and Tocantins, giving rise to a region called by the MATOPIBA producers. In Maranhão, the southern region of the state was where soybean cultivation was first established, followed to the eastern region because it also had similar planting conditions, becoming a new soybean production pole in recent years. In this context, geostatistics they are a suitable tool for the analysis of data that are spatially correlated (PINHEIRO et al.2008). The objective was to analyze the spatial distribution of soybean in the cultivated area and the relation of the productivity variability in relation to the chemical attributes of the soil. The surveyed area is located at Fazenda Condor, located in the municipality of Brejo, eastern region of Maranhão state. Were tagged and georeferenced with GPS, 142 sampling points spaced every 20 m in an area of 180 × 180 m in soybean crop. Six plants with their roots were collected along with soil taken around the sample point to quantify the productivity and chemical attributes of the area. Soil samples were processed by the Jenkins technique (1964). The pH, organic matter, available phosphorus and productivity were evaluated. Using geostatistical techniques, it was possible to map the area, thus allowing to identify specific management zones, with higher and / or lower values of a certain variable, being essential to the adequate development of soybean crop.

Keywords: Geostatistics; kriging; soil chemistry

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Localização da área de estudo, com adensamento dos pontos de coleta (Brejo- ,MA).....	8
<b>FIGURA 2.</b> Coleta de solo e plantas realizada na Fazenda Condor, Brejo-MA. 2019.....	8
<b>FIGURA 3.</b> Processamento das amostras de soja, Laboratório de Fitopatologia, CCAA- UFMA Chapadinha MA.2018.....	9
<b>Figura 4.</b> Semivariogramas de pH (H <sub>2</sub> O),matéria orgânica (MO), fósforo (P), Produtividade (PROD) .....	11
<b>FIGURA 5.</b> Mapas da distribuição espacial pH (H <sub>2</sub> O), matéria orgânica (MO), fósforo disponível (P) e Produtividade.....	12

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	
INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Geral.....	3
2.2 Específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Origem da cultura da soja.....	4
3.2 Expansão da sojicultura no Brasil.....	4
3.3 A sojicultura no Leste Maranhense.....	5
3.4 Importância da avaliação da produtividade de soja por meio de técnicas de geoprocessamento.....	5
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	7
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
7. CONCLUSÕES.....	14
8. REFERÊNCIAS.....	15

## INTRODUÇÃO

A soja é uma cultura de grande importância econômica para o Brasil, sendo a principal cultura do agronegócio brasileiro. Ela é uma planta originária da região denominada Manchúria, que fica no nordeste da China. Foi trazida para a Europa no século XVII, durante o período conhecido como o das grandes navegações, onde permaneceu por mais de 200 anos apenas como uma curiosidade botânica, nos jardins botânicos das cortes europeias. Chegou aos Estados Unidos da América por volta do ano 1890 onde era cultivada como forrageira. Na década de 1940 a soja chegou ao Paraguai e na década de 1950 ao México e Argentina. (EMBRAPA ,2017)

Ainda conforme a Embrapa, 2017, a primeira referência sobre soja no Brasil data de 1882, na Bahia, em relato de Gustavo D'utra. As cultivares introduzidas dos Estados Unidos não tiveram boa adaptação numa latitude em torno de 12 graus Sul (Bahia). Mais tarde, em 1891, novas cultivares foram introduzidas na latitude 22 graus Sul (Campinas), apresentando melhor desempenho. As cultivares mais específicas para consumo humano foram trazidas pelos primeiros imigrantes japoneses em 1908. Entretanto, oficialmente, a cultura foi introduzida no Brasil no Rio Grande do Sul em 1914 na chamada região pioneira de Santa Rosa, onde foram iniciados os primeiros plantios comerciais a partir de 1924.

Sendo a cultura da soja é uma das principais commodities de exportação. O Brasil, em poucas décadas, passou a ser um grande produtor de soja, com 119,3 milhões de toneladas na safra 2017/2018, correspondendo a 30% da produção mundial. Grandes áreas de cerrado do Brasil Central, que apresentam baixa fertilidade natural, mas com uma topografia ideal para a agricultura mecanizada, têm sido incorporadas às grandes lavouras de milho, sorgo, girassol, algodão e principalmente soja.

A ocupação dos cerrados da região Centro-Oeste para o cultivo de grãos levou a uma busca por novas áreas com terras, mais baratas. Diante desse contexto, a frente de ocupação seguiu para as regiões Norte e Nordeste, principalmente no Maranhão, Piauí, Bahia e Tocantins, dando origem a uma região chamada pelos produtores de MATOPIBA. No Maranhão a Região Sul do estado foi onde primeiro a cultura da soja se estabeleceu, seguindo para região Leste por apresentar também condições similares de

plantio, passando a se configurar como um novo polo de produção de soja nos últimos anos.

Nesse contexto, a geoestatística é uma ferramenta adequada para a análise de dados que estão correlacionados espacialmente (PINHEIRO et al. 2008). Com ela, é possível caracterizar a estrutura da dependência espacial entre os parâmetros que definem a distribuição espacial da produtividade. Uma vez detectada a dependência espacial entre as amostragens, o processo de “krigagem” permite estimar valores em locais não amostrados. Assim, o mapeamento possibilita a visualização espacial da produtividade na área de interesse (ANTONIO et al. 2012; WILCKEN et al., 2013), o que constitui aspecto de inquestionável importância como ferramenta de apoio às decisões para o manejo de produção da soja (CLARK, 1979; FARIAS, 1999).

Diante disso, no atual cenário de intensas transformações e inovações tecnológicas voltadas à agricultura, insere-se a agricultura de precisão, que permite, por meio do monitoramento georreferenciado e de técnicas geoestatísticas, o aprofundamento da dinâmica espaço-temporal dos insetos-praga nas diferentes áreas com culturas de interesse econômico (LIEBHOLD et al., 1993; WRIGHT et al., 2002; FARIAS et al., 2004; PARK & TOLLEFSON, 2005; DINARDOMIRANDA et al., 2007; FARIAS et al., 2008; DAL PRÁ et al., 2011; PARK et al., 2011)

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

- Avaliar a produtividade de soja por meio de técnicas de geoprocessamento no leste maranhense.

### **2.2 Específicos**

- Identificar por meio da geoestatística quais áreas tem maior produtividade em relação os atributos químicos do solo;
- Auxiliar o produtor no melhor manejo químico de adubação no solo das áreas de cultivo.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Origem da cultura da soja**

De acordo com os primeiros relatos, a produção de soja, *Glycine max* (L) Merrill foi exclusiva da China até a guerra China-Japão, de 1894 a 1895 quando os japoneses começaram a importar a soja como fertilizante (EMBRAPA, 2000).

No fim do século XV e início do século XVI a soja (commodity) chegou ao Ocidente, porém permanecendo apenas como curiosidade botânica por muito tempo (MANARA, 1988).

Com o conhecimento do conteúdo proteico, a cultura da soja despertou interesse em muitos Países. No final do século XIX a soja foi introduzida nos Estados Unidos, inicialmente como cultura forrageira e posteriormente para produção de grãos (MANARA, 1988).

No ano de 1882, foi registrada a primeira referência de soja no Brasil que ocorreu na Bahia, por Gustavo D’Utra. Em 1892, resultados experimentais foram relatados pelo instituto Agrônomo de Campinas e a partir da década de 40 a área plantada não parou de crescer (CÂMARA, 1998).

#### **3.2 Expansão da sojicultura no Brasil**

A soja é hoje a cultura com maior área cultivada e produção no Brasil em decorrência do bom preço dessa commodity nas últimas safras. Estima-se que na safra de 2017/18 119,3 milhões de toneladas correspondendo a 30% da produção mundial (CONAB, 2018).

A partir dos anos 1980, a soja estendeu-se para o Cerrado, área que compreende o Triângulo Mineiro, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins, Sul do Maranhão, Sul do Piauí e Oeste da Bahia. Com isso, a região do Cerrado se tornou a maior região produtora de soja do país. A expansão para essa nova fronteira agrícola, deveu-se basicamente, aos estudos de fertilização dos solos do Cerrado e a utilização de bactérias fixadoras de nitrogênio, que permitiu a redução de gastos com adubação, a sua topografia plana e favorável a mecanização e o desenvolvimento de plantas adaptadas à região (CISOJA, 2009).

### **3.3 A sojicultura no Leste Maranhense**

A expansão da sojicultura para o Leste Maranhense começou no ano de 1990, mas só se consolidou no ano 2000. A expansão recente da lavoura da soja fez com que em 2006 essa mesorregião fosse responsável por 10% do total plantado no Maranhão, considerada a nova fronteira da produção de soja no Brasil (CONAB, 2018).

O estado do Maranhão apresenta cerca de 839 mil ha cultivados com soja. Embora não seja o Estado Brasileiro com maior área plantada com a cultura, destaca-se por apresentar a maior taxa de crescimento anual (13%) de áreas de plantio de soja (IMESC, 2018).

A microrregião de Chapadinha possui um potencial de cerca de 200 mil ha para produção mecanizada de grãos de (soja, milho, arroz) espalhados pelos seguintes municípios: Chapadinha, Buriti, Anapurus, Mata Roma, Brejo, Santa Quitéria, Milagres, São Bernardo, Magalhães de Almeida, Urbano Santos, São Benedito do Rio Preto e Água doce do Maranhão (SCHLESINGER et al., 2008).

Entre os municípios que possuem maior área plantada com soja no leste maranhense, destacam-se 6 municípios que integram a microrregião de Chapadinha (Anapurus, Brejo, Buriti, Chapadinha, Mata Roma e Milagres) e município de Magalhães de Almeida que faz parte da microrregião homogenia do Baixo Parnaíba (IBGE, 2010).

### **3.4 Importância da avaliação da produtividade de soja por meio de técnicas de geoprocessamento**

Desse modo, a geoestatística se apresenta como a ferramenta mais adequada para o estudo destas populações, uma vez que detecta a dependência espacial entre as amostras coletadas em campo e quantificadas, que são usadas para construir mapas de krigagem (ARIEIRA, 2012).

De acordo com Liu et al. (2013), as estatísticas tradicionais, em combinação com a geoestatística, têm sido amplamente utilizadas para avaliar a variabilidade espacial de atributos do solo e suas relações com fatores ambientais, especialmente aqueles associados com o uso do solo.

A quantificação da variabilidade de alguns atributos e fenômenos que ocorrem no solo requer amostragem perturbadora, muitas vezes julgada impraticável, sendo necessária a utilização de técnicas que reduzam as amostragens (HILTBRUNNER et al., 2012)

A geoestatística, que busca resolver problemas de estimativa de uma variável regionalizada (MATHERON, 1971), se apresenta como uma técnica bastante útil para a avaliação da variabilidade espacial de diversos atributos e fenômenos ambientais.

A difusão do uso da referida técnica se deu porque, embora a amostragem direta forneça a melhor informação acerca dos atributos do solo, a densidade de amostras é raramente adequada para descrever a variação horizontal e vertical das referidas propriedades (BENEDETTO et al., 2012), necessitando que valores de pontos não amostrados sejam estimados.

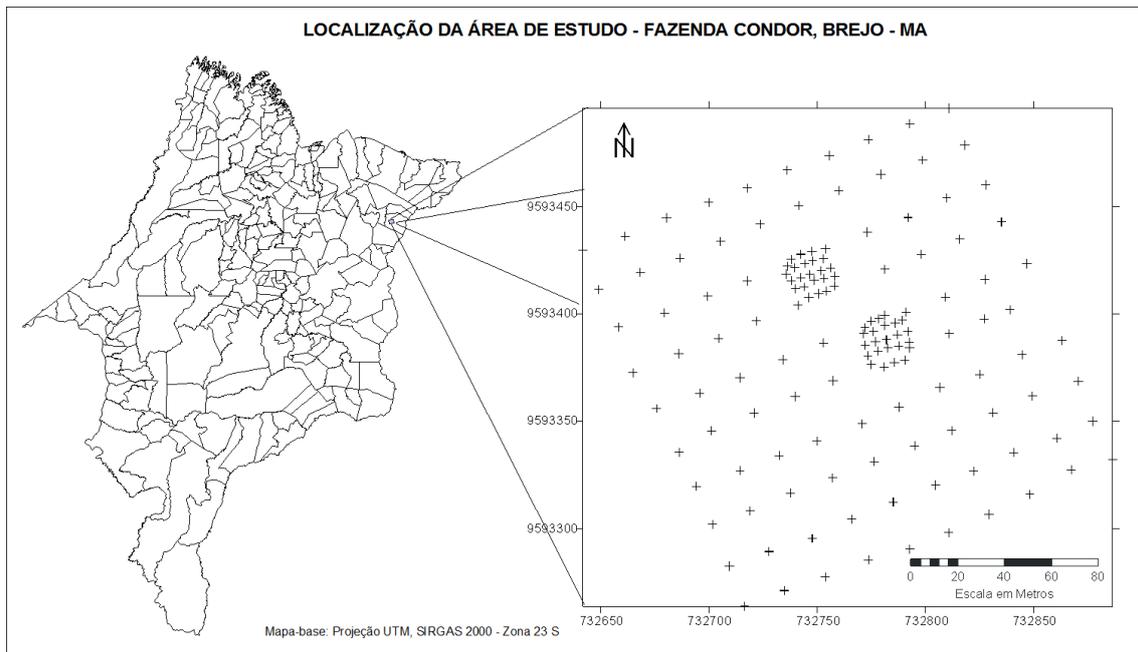
## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades de coleta de solo e plantas foram realizadas na região Leste do Maranhã, na Fazenda Condor, quando a cultura da soja estava no estádio R7.3 (mais de 76% de folhas e vagens amarelas), foram marcados e georreferenciados 142 pontos amostrais equidistantes 20 m em uma área de 180×180 m, totalizando 3,2 hectares. Nesta mesma área foram selecionados aleatoriamente dois quadrantes de 20×20 m nos quais foram feitos adensamentos de 5×5 m, com a finalidade de captar melhor a estrutura de dependência espacial em escala menor e captando a subida do variograma. Em cada ponto foram coletadas amostras de plantas e solo. Cada amostra foi obtida a partir de seis amostras simples de solo, tomadas ao redor do respectivo ponto georreferenciado, que misturadas homogeneamente para obtenção de cada amostra composta, para quantificação dos atributos químicos do solo. Logo após foram colhidas as vagens de 1 m<sup>2</sup> de cada ponto da malha para determinação da produtividade no ponto amostral.

Inicialmente, a variabilidade dos atributos químicos do solo e a produtividade da soja foram avaliadas por meio da estatística descritiva, calculando-se média, mediana, variância e coeficientes de variação, assimetria e curtose. A dependência espacial foi analisada por meio de técnicas da geoestatística, com estimativas de semivariogramas experimentais e ajustes de modelos permissíveis. Sob a pressuposição da hipótese intrínseca, o semivariograma será estimado pela Equação 1, proposta por Burrough & McDonnell (2006):

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

A análise variográfica foi realizada no Software GS+ 9.0 (Gamma Design Software 2008). Para a construção dos mapas espaciais foi utilizado o software Surfer versão 11 (Golden Software Inc. 2012).



**Figura 1 - Localização da área de estudo, com adensamento dos pontos de coleta (Brejo, MA).**



**FIGURA 2 - Coleta de solo e plantas realizada na Fazenda Condor, Brejo-MA. 2019.**

O processamento das amostras consistiu na retirada das vargens e grãos de soja. As amostras foram processadas no laboratório de Fitopatologia no CCAA/UFMA, Campos IV em Chapadinha-MA, e foram utilizados equipamentos como estufa, balança entre outros, como mostra a figura 3



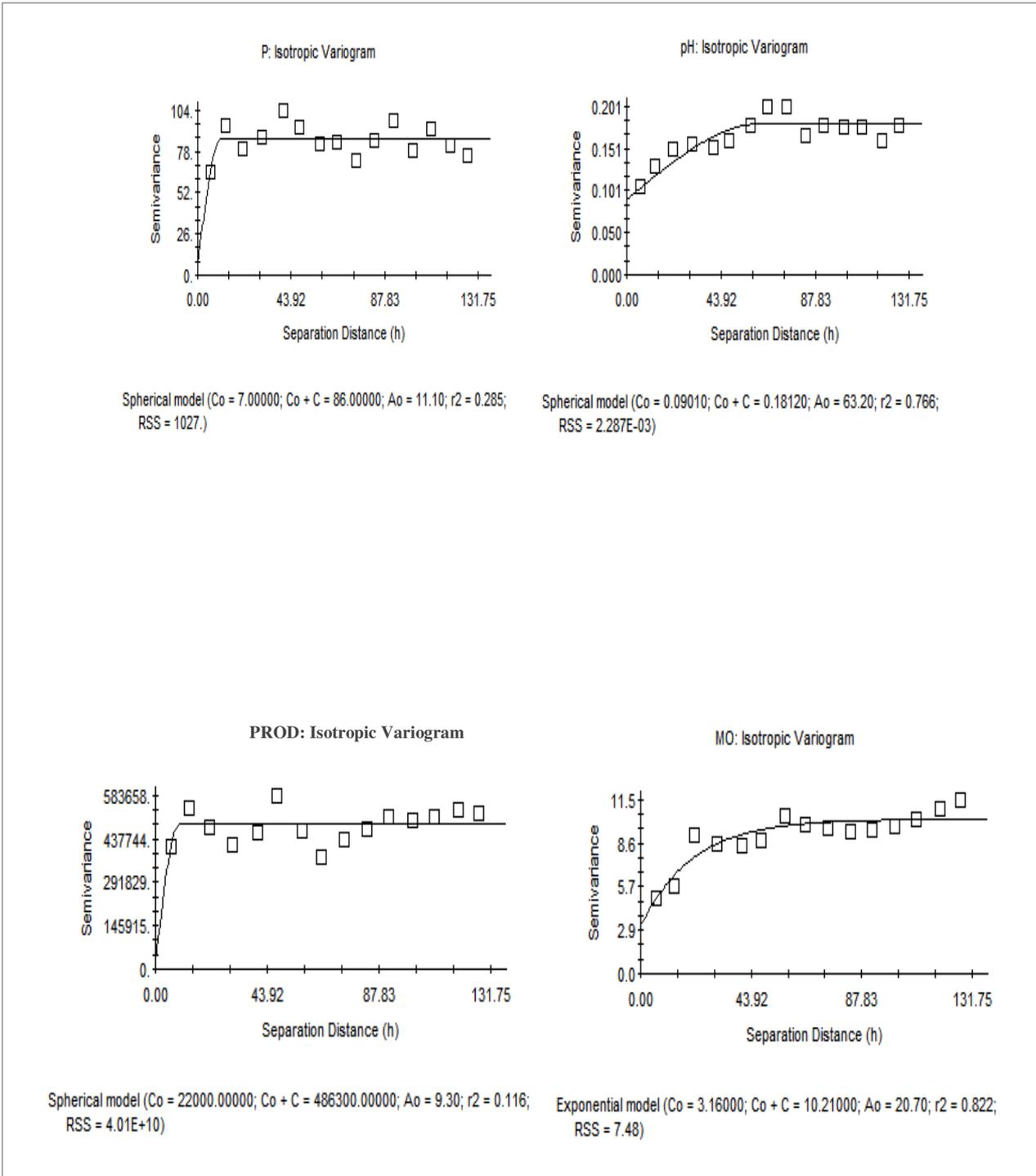
**Figura 3 - Processamento das amostras de soja, Laboratório de Fitopatologia, CCAA-UFMA Chapadinha-MA. 2018.**

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os atributos químicos são distribuídos no espaço de forma não tão aleatórias, por todos apresentaram valores moderados ou fortes para o grau de dependência espacial. A maior parte da variância dos dados experimentais é explicada pelos semivariogramas. A forte dependência espacial para características químicas do solo também é encontrada por outros autores (AMADO et al., 2009; CRUZ et al., 2010; CAMPOS et al., 2012).

As propriedades intrínsecas do solo, como textura e mineralogia são intensamente influenciados por forte dependência espacial obtida dos atributos do solo, já aqueles que apresentaram fraca dependência recebem maior influência de fatores externos, devido a aplicações de fertilizantes, preparo e cultivo do solo (CAMBARDELLA et al., 1994; CAMPOS et al., 2009; SOUZA et al., 2010).

Representando a distância na qual uma variável regionalizada apresenta continuidade espacial, no alcance o comportamento espacial da variável passa a ser totalmente aleatório (LEMOS FILHO et al., 2008). Seu conhecimento é crucial à agricultura de precisão, uma vez que os programas computacionais o utilizam para monitorar o maquinário agrícola quando da aplicação de insumos com taxas variáveis (DALCHIAVON et al., 2011).



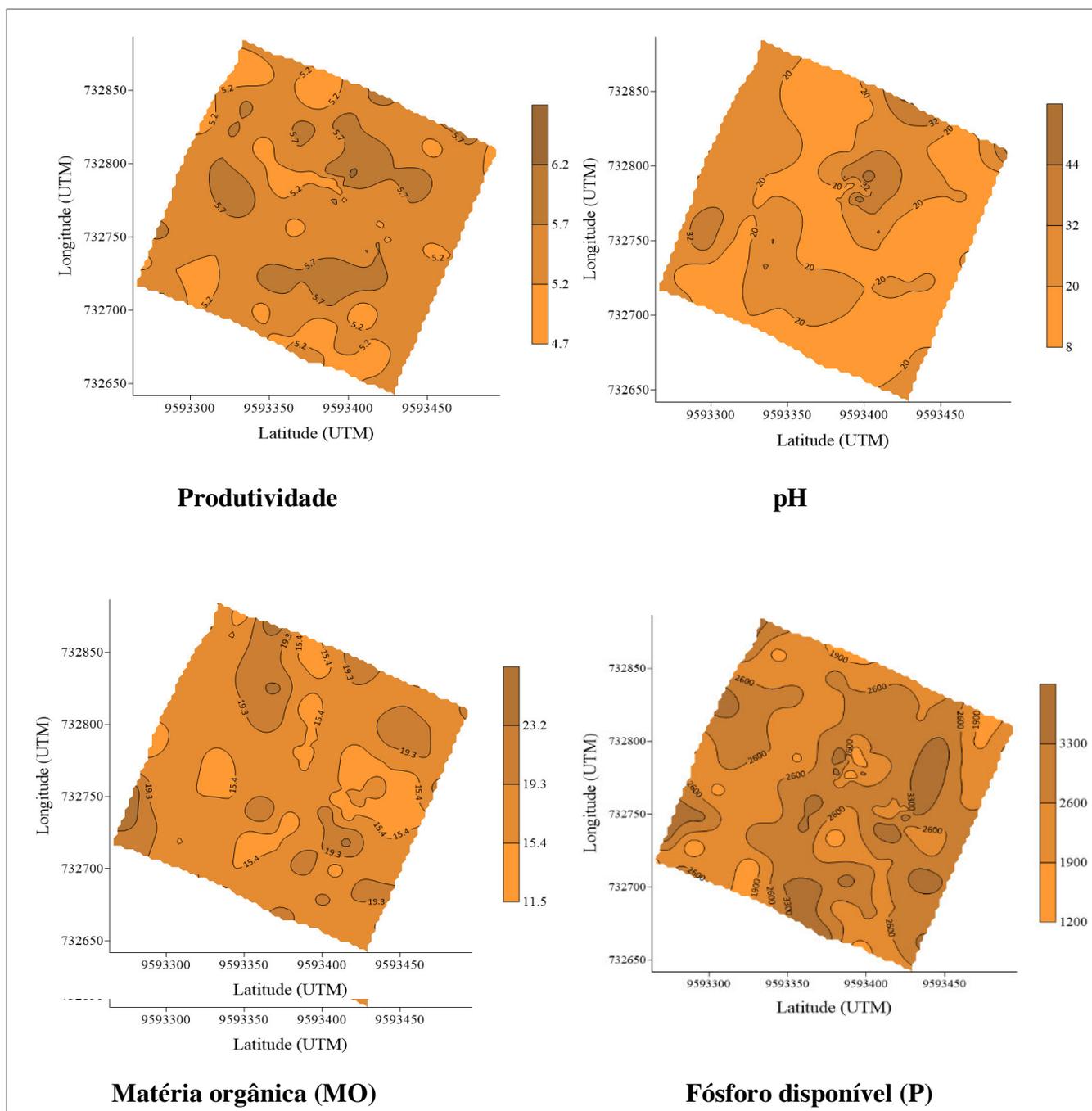
**Figura 4 – Semivariogramas de pH (H<sub>2</sub>O), matéria orgânica (MO), fósforo (P), Produtividade (PROD).**

Pode-se constatar através dos dados de geoestatística que a variabilidade dos atributos químicos do solo é consequência de complexas interações dos processos de sua formação e de práticas de manejo do solo e da cultura, trazendo impacto principalmente nas camadas superficiais do solo, conhecendo assim a distribuição dos referidos atributos no presente trabalho. Para os níveis de matéria orgânica no solo (MO), está se apresentou na faixa de médio teor ( $24,5 \text{ g dm}^{-3}$ ), o que pode ser verificado na figura 4.

O P apresentou teor médio de  $28 \text{ mg dm}^{-3}$  na maior parte da área pesquisada (Figura 4), com valores decrescendo no sentido inverso ao da declividade natural do terreno, ou seja, os maiores teores de P foram constatados nas regiões mais baixas da área. De acordo com SILVA et al. (2010) O seu correto manejo no ambiente se faz de extrema importância, haja vista que, o P é um dos nutrientes mais limitantes à produtividade das culturas, portanto, assume grande importância na produção agrícola.

O valor médio de pH ( $\text{pH} = 5,4$ ), como pode ser verificado na figura 5, possibilitou um ambiente de acidez média (pH entre 5,1 e 5,5), em virtude de que no ano de 2011 havia sido realizada a calagem na área, elevando-se a saturação por bases a 60%.

Foi possível, a partir dos ajustes dos semivariogramas, construir os mapas de krigagem (Figura 5), permitindo definir zonas específicas de manejo da fertilidade do solo, que possibilitam a aplicação de insumos com taxas variadas, visando à homogeneização da fertilidade do solo, que são fundamentais para a agricultura de moderna.



**Figura 5 - Mapas da distribuição espacial pH (H<sub>2</sub>O), matéria orgânica (MO), fósforo disponível (P) e Produtividade.**

Segundo constatação mencionada por CHAVES & FARIAS (2009). Os dados não apresentaram distribuições simétricas, contudo, os coeficientes de assimetria e curtose ficaram próximos de zero, bem como valores médios e medianos próximos para a maioria dos atributos, o que permite que lhes sejam aplicados tratamentos geoestatísticos e por meio desta técnica possibilita ocorrer a avaliação da dependência espacial dos atributos.

## **7. CONCLUSÕES**

- Houve correlação entre os atributos químicos do solo do cerrado do leste maranhense com a produtividade da cultura da soja;
- Foi possível fornecer embasamento científico para os produtores de soja da região sobre monitoramento georreferenciado e as técnicas de geoestatística.
- O estudo da variabilidade dos atributos do solo bem como a adoção de técnicas que auxiliem no manejo do solo, como a geoestatística, é essencial ao adequado desenvolvimento da cultura da soja.

## 8. REFERÊNCIAS

- AMADO TJC et al. 2009. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 33: 831-843.
- ANTONIO, S. F.; MENDES, F. L.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; DIAS, W. P.; RAMOS-JR, E. U.; GOULART, A. M. C.; SILVA, J. F. V. Perdas de produtividade da soja em área infestada por nematoide das lesões radiculares em Vera-MT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 6. 2012, Cuiabá. **Anais eletrônicos...** Londrina: Embrapa Soja, 2012. CD-ROM.
- ARIEIRA, G. de O. **Diversidade de nematoides em sistemas de culturas e manejo do solo.** 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação.
- BENEDETTO, D. de; CASTRIGNANO, A.; SOLLITTO, D.; MODUGNO, F.; BETTAFUOCO, G.; PAPA, G. Integrating geophysical and geostatistical techniques to map the spatial variation of clay. *Geoderma*, Amsterdam, v. 171-172, p. 53–63, 2012. doi:10.1016/j.geoderma.2011.05.005
- CÂMARA, G.M. de **Origem, difusão geográfica e importância da soja.** In: CÂMARA, A, G.M. de S. (coord.). *Soja: Tecnologia de produção.* ESAQ/USP. Piracicaba, p. 1-25, 1998.
- CAMBARDELLA CA et al. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society of American Journal* 58: 1501-1511.
- CHAVES LHG & FARIAS CHA. 2009. Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica* 40: 211-218.
- CISOJA **Centro de Inteligência da Soja.** 2009. Disponível em: <http://www.cisoja.com.br/>. Acessado em 23 fev. 2016.
- CLARK, I. **Practical geostatistics.** Essex: Applied Science Publishers, 1979.
- CONAB (COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento da safra Brasileira:** Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/ploads/arquivos/7e05515f8222082610088f5a2376c6af.pdf>. Acesso em: 18 maio .2019.

CONAB (COMPANIA NACIONALDE ABASTECIEMENTO). Acompanhamento de safra brasileira: grãos, safra 2017/2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/2933-producao-de-graos-no-brasil-deve-ser-de-238-9-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 05 maio.2018

CONAB (COMPANIA NACIONALDE ABASTECIEMENTO). Acompanhamento de safra brasileira: grãos, safra 2013/2014, terceiro levantamento. Brasília, 2013. v. 1, n. 3, p. 58. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uplads/arquivos/131210160656\\_boletim\\_portugues\\_dezeembro\\_2013.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uplads/arquivos/131210160656_boletim_portugues_dezeembro_2013.pdf).

CRUZ, J. S.; ASSIS JUNIOR, R. N.; MATIAS, S. S. R.; CAMACHO-TAMAYO, J. H.; TAVARES, R. C. Análise espacial de atributos físicos e carbono orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. 2, p. 271-278, 2010.

DALCHIAVON FC et al. 2011a. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 41: 8-19.

DIAS, W.P.; RIBEIRO, N.R.; PIVATO; MOLINA, D. XXX Reunião de pesquisa de soja da região Central do Brasil 2008. **Resumos**. Rio verde: Embrapa Soja, 2008. P. 137- 139. (DOC 304).

EMBRAPA SOJA, Origem e história da soja no Brasil. publicado em 05/04/2017. Disponível em: <https://blogs.canalrural.uol.com.br/embrapasoja/2017/04/05/origem-e-historia-da-soja-no-brasil/>. Acesso em: 03 abril. 2019.

EMBRAPA-Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2000. A cultura da soja no Brasil. Londrina: Embrapa Soja 179.

FARIAS, P. R. S. **Distribuição espacial do nematóide reniforme com o uso da geoestatística, em um solo com rotação de culturas**. 1999. 109 p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 1999.

FERRAZ, L. L. C. B.; MONTEIRO, A. R. Nematoides. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). **Manual de fitopatologia**: Princípios e conceitos. São Paulo: Ceres, 1997. V. 1, p. 168-201.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for Windows**: surface-mapping system. Versão 11. Golden, 2012.

HILTBRUNNER, D.; SHULZE, S.; HAGEDORN, F.; SCHMIDT, W. I.; ZIMMERMANN, S. Cattle trampling alters soil properties and changes soil microbial communities in a Swiss sub-alpine pasture. **Geoderma**, Amsterdam, v. 170, n. 15, p. 369–377, 2012

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA) **Produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro, 2010.V.37.91 p.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Geomorfologia**: mapa geomorfológico do estado do Maranhão. Rio de Janeiro, 2011c. Escala 1:400.000.

IMESC- Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos, segunda Nota Bimestral de Conjuntura Econômica sobre a agricultura do Estado, referente ao ano de 2017. Disponível em: [http://imesc.ma.gov.br/src/upload/publicacoes/Nota\\_Bimestral\\_de\\_Agricultura\\_-\\_Abril\\_de\\_2018.pdf](http://imesc.ma.gov.br/src/upload/publicacoes/Nota_Bimestral_de_Agricultura_-_Abril_de_2018.pdf). Acesso em: 06 abril. 2019.

LANDIM, P.M.B. 2010. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas Laboratório de Geomatématica, DGA/IGCE/UNESP, Rio Claro - Texto Didático 02. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/interpo.pdf>>. Acesso em 17 de junho 2019.

LEMOS FILHO LCA et al. 2008. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Revista Ciência Agronômica* 39: 193-202.

LIEBHOLD, A.M. et al. Geostatistics and geographic information system in applied insect ecology. **Annual Review of Entomology**, v.38, p.303-327, 1993. Disponível em: <<http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.en.38.010193.001511>

LIU, L.; YAN, Z.; TANG, L.; CAO, W.; WANG, E. Impacts of climate changes, soil nutrients, variety types and management practices on rice yield in East China: a case study in the Taihu region. **Field Crops Research**, Amsterdam, v 149, n. 1, p. 40–48, 2013a. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2013.04.022>.

MANARA, N.T.F. **Origem e expansão**. In: SANTOS, O. S. dos. (Coord.). *Acultura da soja-1*. Editora Globo, Rio de Janeiro, P.13-23, 1988.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its application**. Paris: Paris School of Mines Publications, 1971. (Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, 51).

OLIVER, M.A. & WEBSTER R. 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variogramas and kriging. *Catena*, 113:56–69.

PINHEIRO, J. B.; POZZA, E. A.; ALEXANDRE POZZA, A. A.; MOREIRA, A. S.; ALVES, M. C.; CAMPOS, V. P. Influência da nutrição mineral na distribuição espacial do nematoide de cisto da soja. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 32, n. 4, p. 270-278, 2008.

SANTOS JÚNIOR, R. F. **Resposta espectral de plantas de soja cv. BRS133 infectadas por Heterodera glycines ou Meloidogyne javanica**. 2002. 53. F. dissertação (Mestrado em Entomologia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal SP 2002.

SCHLESINGER, S.; NUNES, S. P.; CARNEIRO, M. S. **Agricultura familiar da soja na região sul e o monocultivo no Maranhão**: duas faces do cultivo da soja no Brasil. Rio de Janeiro: Fase, 2008. p. 148

SCHLESINGER, S.; NUNES, S.P.; CARNEIRO, M. S. **Agricultura familiar da soja na região Sul e o monocultivo no Maranhão**: duas faces do cultivo da soja no Brasil. Rio de Janeiro: fase, 2008. p. 148.

SRIVASTAVA, R. M. Geostatistics: a toolkit for data analysis, spatial prediction and risk management in the coal industry. **International Journal of Coal Geology**, v.112, n. 1, p. 213, 2013. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2013.01.011>.

WILCKEN, S. R. S.; GABIA, A. A.; SILVA, M. F. A.; JOAZ DORNELES JÚNIOR, J. D.; ZIMBACK, C. R. L. Distribuição horizontal de *Pratylenchus zae* em milho. In:

SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 3, 2013, Botucatu. **Anais eletrônicos...** Botucatu: FCA, 2013. CD-ROM.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

YAMAMOTO, J. K.; MAO, X. M.; CROSTA, K. K. A. P.; LANDIM, P. M. B.; HU, H. Z.; WANG, C. Y.; YAO, L. Q. Mapping an uncertainty zone between interpolated types of a categorical variable. **Computers and Geosciences**, Kidlington, v. 40, p. 146-152, 2012.

YORINORI, J. T. Cultivares de soja resistentes a podridão da raiz vermelha causada por *Fusarium solani*. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 22, 1994, Crus Altas. **Resumos**. Crus Alta: FUNDACEP FECOTRIO, 1994 P. 61.