

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

**INTER-RELAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA SOJA COM**  
**ATRIBUTOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO**  
**DISTROFÉRRICO SOB PLANTIO DIRETO NO CERRADO**

**RIENNI DE PAULA QUEIROZ**

Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. **Morel de Passos e Carvalho**

Tese de doutorado apresentada à  
Universidade Estadual Paulista  
“Júlio de Mesquita Filho” – UNESP  
– Campus de Ilha Solteira, para  
obtenção do título de Doutora em  
Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção.

Ilha Solteira - SP

Fevereiro/2009

## FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação  
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

Q3i

Queiroz, Rienni de Paula.

Inter-relação da produtividade da soja com atributos de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto no cerrado / Rienni de Paula Queiroz. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2009  
90 f.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2009

Orientador: Morel de Passos e Carvalho

Bibliografia: p. 74-89

1. Solos – Conservação. 2. Rotação de cultivos. 3. Integração lavoura-pecuária.  
4. Soja.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO:** Inter-relação da produtividade da soja com atributos de um latossolo vermelho distroférrico sob plantio direto no Cerrado

**AUTORA:** RIENNI DE PAULA QUEIROZ

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. MOREL DE PASSOS E CARVALHO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR em AGRONOMIA, Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MOREL DE PASSOS E CARVALHO  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. EDSON LAZARINI  
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / 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

Prof. Dr. CARLOS SERGIO TIRITAN  
Departamento de Solos / Universidade do Oeste Paulista

Data da realização: 16 de fevereiro de 2009.

## **DEDICO**

*Aos meus pais*

*Analdó Batista de Queiroz e Rozenir de Paula Queiroz pelo amor, compreensão, dedicação, educação e esforços para que eu adquirisse uma formação moral e profissional, fica minha eterna gratidão...*

*Ao meu amor*

*Marcio Lustosa Santos pelo amor, companheirismo, paciência e incentivo...*

*Ao meu filho*

*Pedro Lucas Queiroz Lustosa pela espera, paciência, carinho e muito amor que proporciona a minha vida...*

*As minhas irmãs*

*Andriela de Paula Queiroz e Marielen de Paula Queiroz pelos momentos felizes, apoio, dedicação, incentivo e presença constante em minha vida....*

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

*A Deus, pela graça de poder concluir mais uma etapa de minha vida, com sabedoria, paciência e determinação.*

*A meus pais Analdo Batista de Queiroz e Rozenir de Paula Queiroz, pela compreensão, amor, carinho, amizade, incentivo, tornando-se possível a minha formação profissional, enfim, **PORTUDO**.*

*A meu marido Marcio Lustosa Santos e meu filho Pedro Lucas Queiroz Lustosa pelo amor, dedicação, paciência, respeito e companheirismo.*

*As minhas irmãs Andriela e Marielen, pelo amor, amizade, companheirismo, incentivo, pelas alegrias, enfim, por elas existirem.*

*Aos meus avós, tios, primos pela confiança, incentivo e respeito.*

*Aos meus sogros, Gelcy e Iberê pela confiança, incentivo e respeito.*

*A minha cunhada Rosane e cunhados e grandes amigos Marcelo Lustosa, Brenner Aguirre e Marcelo A. Carvalho pela confiança, incentivo e respeito.*

*À Universidade Estadual Paulista - **UNESP**, em especial ao departamento de Solos e Fitossanidade, do Curso de Agronomia, pela oportunidade, incentivo e aperfeiçoamento dos meus estudos.*

*À Universidade do Estado do Mato Grosso-**UNEMAT** pela oportunidade de finalização desta pesquisa, apoio, incentivo e compreensão.*

*Ao professor doutor Morel de Passos e Carvalho pela orientação deste trabalho, pelos ensinamentos e lições de vida, enfim por me fazer hoje uma profissional qualificada.*

*Em especial manifesto minha eterna gratidão ao professor Doutor Edson Lazarini e Enês Furlani pelos ensinamentos, oportunidades, pelo estímulo de competência e profissionalismo e principalmente a amizade.*

*Aos professores da banca examinadora, pela contribuição, incentivo e respeito ao meu trabalho.*

*A todos os professores docentes da pós-graduação pela amizade, colaboração, incentivo nos diversos momentos e exemplos de lição de vida, em especial professor doutor Marcelo Andreotti na condução da pesquisa.*

*Em especial manifesto minha eterna gratidão ao Rafael Montanari pelos ensinamentos, exemplos de competência e profissionalismo, pela orientação sábia deste trabalho, enfim pela amizade e confiança concedida a mim.*

*A todos funcionários da UNESP, colegas, e demais pessoas que ajudaram, zelaram e me apoiaram durante a realização deste trabalho.*

*Aos meus amigos Elisa Eni Freitag, Vilma Cosntantino, Marlene, Armando, Sandra, Toninho, Daniela Koike, pela grande amizade, apoio e companheirismo, enfim, todos aqueles que de uma forma ou de outra torceram por mim.*

*Aos meus colegas César Augusto, Alexandre, Karen, Gilberto Collodro pela ajuda, amizade e incentivo.*

*Enfim, a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para que eu chegasse até aqui, meus sinceros agradecimentos.*

**MUITO OGRIGADA!**

## LISTA DE QUADROS

| <b>Quadro</b>  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| 1. Caracterização química inicial nas camadas de zero-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m do solo na semeadura da soja na área experimental, Selvíria-MS, 2005.....   | 25            |
| 2. Caracterização da macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo das camadas de zero-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m anterior a semeadura da soja na área experimental. Selvíria-MS, 2005..... | 25            |
| 3. Análise descritiva inicial de alguns atributos da produtividade da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférrico.....   | 33            |
| 4. Matriz de correlação linear simples entre alguns atributos da produtividade da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférrico.....   | 39            |
| 5. Equações e coeficientes da regressão entre alguns atributos da produtividade de soja e de um Latossolo Vermelho Distroférrico.....  | 44            |
| 6. Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos da produtividade da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférrico.....   | 48            |
| 7. Parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens de alguns atributos da produtividade da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférrico.....   | 56            |
| 8. Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados para alguns atributos da produtividade da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférrico.....  | 67            |

## LISTA DE FIGURAS

| <b>Figura</b>  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| 1. Esquema da malha experimental alocada num Latossolo Vermelho Distroférico da Fazenda de Ensino e Pesquisa – Cerrado (FE/UNESP) em Selvíria/MS sob plantio direto..... | 27            |
| 2. Regressão entre atributos e componentes de produção da soja num Latossolo Vermelho Distroférico.....  | 45            |
| 3. Regressão da produtividade de grãos da soja em função de alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico.....  | 46            |
| 4. Semivariogramas simples dos atributos da produtividade da soja num Latossolo Vermelho Distroférico.....   | 51            |
| 5. Semivariograma simples da macroporosidade e da microporosidade avaliadas em profundidade num Latossolo Vermelho Distroférico.....                                     | 52            |
| 6. Semivariograma simples da porosidade total e da densidade do solo avaliadas em profundidade num Latossolo Vermelho Distroférico.....                                  | 53            |
| 7. Semivariograma simples dos teores de matéria orgânica de um Latossolo Vermelho Distroférico.....  | 54            |
| 8. Validação cruzada dos atributos da produtividade da soja num Latossolo Vermelho Distroférico.....   | 57            |
| 9. Validação cruzada da macroporosidade e da microporosidade avaliadas em profundidade num Latossolo Vermelho Distroférico.....  | 58            |
| 10. Validação cruzada da porosidade total, densidade global e do teor de matéria orgânica avaliados em profundidade num Latossolo Vermelho Distroférico.....             | 59            |
| 11. Mapas de krigagem dos atributos da produtividade da soja num Latossolo Vermelho Distroférico.....  | 61            |
| 12. Mapas de krigagem da macroporosidade e da microporosidade de um Latossolo Vermelho Distroférico.....   | 62            |
| 13. Mapas de krigagem da microporosidade, porosidade total e da densidade global de um Latossolo Vermelho Distroférico.....  | 63            |



|   |    |
|---|----|
| 14. Mapas de krigagem dos teores de matéria orgânica de um Latossolo Vermelho Distroférico.....   | 64 |
| 15. Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de co-krigagem da produtividade da soja (PG) em função do número de grãos por planta (NG) num Latossolo Vermelho Distroférico..... | 68 |
| 16. Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de co-krigagem da produtividade da soja (PG) em função da macroporosidade (MA1) num Latossolo Vermelho Distroférico.....           | 69 |
| 17. Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de co-krigagem da produtividade da soja (PG) em função da macroporosidade (MA3) num Latossolo Vermelho Distroférico.....           | 70 |
| 18. Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de co-krigagem da produtividade da soja (PG) em função da microporosidade (MI1) num Latossolo Vermelho Distroférico.....           | 71 |
| 19. Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de co-krigagem da macroporosidade (MA2) em função da microporosidade (MI) num Latossolo Vermelho Distroférico.....                 | 72 |

QUEIROZ, R. P. **Inter-relação da produtividade da soja com atributos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto no cerrado.** 2009. 92f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

## RESUMO

As culturas agrícolas são responsáveis pela terça parte da produtividade de grãos destinada à alimentação brasileira, desempenhando importante papel econômico-financeiro à nação. Desta forma, no ano agrícola 2005/2006, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia/UNESP- Campus Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria-MS (20°22'S, 51°22'W e 335m de altitude média), foram estudadas a variabilidade e a dependência espacial entre alguns atributos do solo e componentes de produção da soja, quando rotacionada após milho safrinha, sobre um Latossolo Vermelho Distroférico. Assim, foram estudadas as correlações lineares e espaciais entre os atributos do solo (MA, MI, PT, DS e MO) e os da planta (AP, AV, NV, NG, MM e PG), com o objetivo de selecionar aquele que melhor se apresentasse para explicar a produtividade de grãos de soja. Para tanto, na área agrícola da FEPE/Cerrado, instalou-se a malha geoestatística contendo 124 pontos amostrais, com espaçamento de 10,0 x 10,0 m, 5,0 x 5,0 m e 1,67 x 1,67 m entre eles, numa área total de 4000 m<sup>2</sup>. Do ponto de vista linear e espacial, foi observada correlação direta entre a macroporosidade, avaliada de zero-0,10 m de profundidade e a produtividade de grãos de soja, sugerindo-a como indicadora da qualidade física do solo pesquisado.

**Palavras-chave:** conservação do solo, rotação de culturas, geoestatística, *Glycine max* (L.) Merrill

QUEIROZ, R. P. **Inter-relation of the productivity of soybean with attributes of an Oxisol under tillage in the savannah.** 2009. 92f. Thesis (Doctorate Production Systems) – Faculdade de Engenharia- Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

## **ABSTRACT**

The crops are responsible for third of grain yield for the Brazilian food, performing economic and financial importance to the nation. Thus, in the agricultural year 2005/2006, the Finance of Education, Research and Extension, Universidade/UNESP-Campus Ilha Solteira, located in Selvíria-MS (20 ° 22'S, 51 ° 22'W and 335m of altitude average) , evaluated the variability and spatial dependence among soil attributes and components of the soybean production, where rotational after winter maize on an Oxisol. Therefore, we studied the linear and spatial correlation between soil attributes (MA, MI, PT, DS, and MO) and the plant (AP, AV, NV, NG, MM and PG) with the goal of selecting that better to present to explain the grain yield of soybean. Thus, the area's agricultural FEPE / Cerrado, installed to geostatistics mesh containing 124 sampling points with spacing of 10.0 x 10.0 m, 5.0 x 5.0 x 1.67 m 1.67 m between them, a total area of 4000 m<sup>2</sup>. From a linear and space, was a direct correlation between the macroporosity, evaluated from zero-0, 10 m depth and grain yield of soybean, suggesting it as an indicator of soil physical quality searchable.

**Key-words:** soil conservation, crop rotation, geostatistics, *Glycine max* (L.) Merrill

## SUMÁRIO

|  | Página |
|--|--------|
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 14     |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....  | 16     |
| 2.1. A cultura da soja no sistema de plantio direto.....   | 16     |
| 2.2. Atributos físicos do solo e produtividade da cultura soja.....  | 17     |
| 2.3 Importância da variabilidade dos atributos do solo.....  | 19     |
| 2.4 Aspectos estatísticos relacionados com o estudo da variabilidade do sol.....                             | 20     |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS .....  | 24     |
| 3.1. Caracterização do local de origem dos dados.....  | 24     |
| 3.2. Caracterização inicial do solo pesquisado.....  | 24     |
| 3.3. Implantação e condução da planta-teste pesquisada.....  | 26     |
| 3.4. Implantação e caracterização da malha experimental utilizada para coleta dos atributos pesquisados..... | 26     |
| 3.5. Coleta e metodologia de determinação dos atributos pesquisados.....                                     | 28     |
| 3.6. Análise estatística dos atributos pesquisados.....  | 29     |
| 3.6.1. Análise descritiva inicial dos dados.....   | 29     |
| 3.6.2. Análise de regressão.....   | 30     |
| 3.6.3. Análise geoestatística.....   | 30     |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 32     |
| 4.1. Análise descritiva dos dados.....   | 32     |
| 4.1.1. Variabilidade dos atributos estudados.....  | 32     |
| 4.1.1.1. Atributos da planta.....  | 32     |
| 4.1.1.2. Atributos do solo.....  | 34     |
| 4.1.2. Distribuição de freqüência e valores médios dos atributos estudados.....                              | 34     |

|   |    |
|---|----|
| 4.1.2.1. Distribuição de freqüência dos atributos.....                              | 34 |
| 4.1.2.2. Valores médios.....  | 35 |
| 4.1.2.2.1. Atributos da planta.....   | 35 |
| 4.1.2.2.2. Atributos do solo.....   | 37 |
| 4.2. Análise de regressão entre os atributos estudados.....                         | 38 |
| 4.2.1. Regressão linear simples.....  | 38 |
| 4.2.1.1. Matriz de correlação linear simples entre os atributos estudados.....      | 38 |
| 4.2.1.1.1 Atributos da planta <i>versus</i> atributos da planta.....                | 40 |
| 4.2.1.1.2. Atributos da planta <i>versus</i> atributos do solo.....                 | 40 |
| 4.2.1.1.3. Atributos do solo <i>versus</i> atributos do solo.....                   | 41 |
| 4.2.1.2. Regressão linear simples entre os atributos estudados.....                 | 42 |
| 4.2.1.3. Regressão linear multipla entre os atributos estudados.....                | 47 |
| 4.3. Análise geoestatística dos atributos estudados.....                            | 47 |
| 4.3.1. Análise semivariográfica simples.....  | 47 |
| 4.3.1.1. Ajuste dos semivariogramas simples dos atributos estudados.....            | 47 |
| 4.3.1.2. Validação cruzada dos semivariogramas simples dos atributos estudados..... | 55 |
| 4.3.1.3. Mapas de krigagem dos atributos estudados.....                             | 60 |
| 4.3.2. Análise semivariográfico cruzada.....  | 65 |
| 4.3.2.1. Ajuste dos semivariogramas cruzados e mapas de co-krigagem dos atributos   | 65 |
| 5. CONCLUSÕES.....  | 73 |
| 6. REFERÊNCIAS.....   | 74 |
| 7. ANEXO.....   | 91 |

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil a degradação dos solos e monocultivo têm merecido, por parte da classe agrônômica e dos produtores rurais, especial atenção. No Cerrado, as condições limitantes de fertilidade e manejo inadequado conduzem à degradação do solo. Assim, o cultivo contínuo de cultura na mesma área resulta num decréscimo da produtividade agrícola, devido ao aumento da incidência de pragas e doenças, aumento de plantas daninhas específicas, diminuição da disponibilidade de nutrientes do solo, diminuição do desenvolvimento do sistema radicular, e ao acúmulo de substâncias tóxicas ou inibidoras de crescimento, tornando-a incapaz de sustentar os níveis de produção. Para frear esse processo e recuperar áreas agrícolas, um caminho eficaz tem sido a rotação de culturas, pela utilização do sistema plantio direto, tecnologia fundamentada na ausência do revolvimento do solo, presença de cobertura morta e rotação de culturas. Por isso, para a consolidação e sucesso desse sistema, é de fundamental importância o estabelecimento de culturas para a produção de palhada, em quantidade adequada à cobertura do solo, em rotação com culturas anuais adubadas, como a soja.

A introdução no sistema plantio direto pela rotação de cultura com a referida leguminosa é perfeitamente viável, sobretudo quando o planejamento e as operações de campo são bem efetuados e as condições edafoclimáticas favoráveis. Nessas condições, podem-se atingir altas produtividades, proporcionando receitas com apreciáveis lucros já no primeiro ano de cultivo.

Os processos e atributos do solo que determinam o desempenho e a produção das culturas, bem como o impacto da agricultura no meio ambiente, variam no espaço e no tempo. Portanto, tais atributos podem ser espacialmente correlacionados, conduzindo para que a dependência espacial explique a influência dos fatores e processos de sua formação, assim como do seu manejo. Dessa forma, este fato pode contribuir para o aumento da produtividade

agrícola. Por outro lado, o mapeamento dos atributos do solo numa área agrícola é importante tanto para a recomendação de práticas de manejo do solo, como para a avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental, sobretudo sob o ponto de vista de sua compactação. Assim, o efeito das alterações nos atributos do solo, e a sua correlação com a variabilidade espacial da produtividade das culturas, provocada por diferentes manejos do solo, têm sido amplamente estudado e divulgado.

A adoção do sistema plantio direto, altera a estrutura do solo, que por sua vez, interfere nas características físicas da sua camada superficial, vindo a interferir na produtividade das culturas. Os efeitos desse sistema sobre a produtividade da soja e de seus componentes são muito dependentes das condições locais ou sazonais, apresentando resultados controversos. Por outro lado, um sistema de manejo do solo em agricultura de precisão é aquele no qual as limitações da produtividade das culturas e a proteção ambiental podem ser identificadas, caracterizadas e manejadas em tempo e local adequados. A caracterização da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos dos solos, associada a outras técnicas estatísticas de tomada de decisões, podem contribuir para uma agricultura econômica e ecologicamente sustentável.

Assim, o presente trabalho realizado num Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto, objetivou analisar a inter-relação entre os componentes de produção da soja e alguns atributos do solo, visando à produtividade agrícola inserida no contexto da sustentabilidade local.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. A cultura da soja no sistema de plantio direto**

No sistema plantio direto, a rotação de culturas, na qual é empregado a soja, é praticamente imprescindível. O cultivo contínuo dessa cultura na mesma área resulta num decréscimo da produtividade agrícola, devido ao aumento da incidência de pragas e doenças, aumento de plantas daninhas específicas, diminuição da disponibilidade de nutrientes do solo, diminuição do desenvolvimento do sistema radicular, e ao acúmulo de substâncias tóxicas ou inibidoras de crescimento (DERPSCH et al., 1991).

A produtividade da soja depende das condições físicas, químicas e biológicas do solo, bem como dos fatores climáticos, tais como a quantidade e distribuição de chuvas durante o seu período de crescimento (SALVADOR et al., 1993). Para Elmore (1990), a produtividade de grãos da cultura da soja não é afetada por diferentes tipos de preparo de solo. Entretanto, conforme observou Prasad (1996), a qualidade de semeadura e a produtividade da soja, no sistema plantio direto, foram melhores do que aquela obtida no sistema convencional de preparo do solo.

A eficácia dos sistemas de manejo conservacionistas do solo, especialmente do sistema plantio direto, está relacionada, dentre outros fatores, com a quantidade de resíduos culturais remanescentes, assim como com a densidade de cobertura superficial. A massa seca da parte aérea das culturas passa a ser, portanto, outro fator de produtividade da cultura de extrema importância (BERTOL et al., 1998).

A cultura da soja tem limitante contribuição na adição de resíduos ao solo, pois raramente ultrapassa  $2,5 \text{ t ha}^{-1}$  e apresenta relação C:N abaixo de 25:1. Portanto, com o objetivo de atender a necessidade de adição de massa seca, necessária para recuperar o teor de matéria orgânica, estimada em mais de  $6 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , faz-se necessário que esta cultura seja utilizada em programas de rotação de culturas que privilegiem a produção de massa seca.



Nestes programas de rotação de cultura, a combinação de gramíneas e leguminosas é importante estratégia na melhoria da qualidade física do solo (BERTOL et al., 2001).

O uso da rotação de culturas conduz à diversificação das atividades na propriedade, possibilitando estabelecer esquemas que envolvam apenas culturas anuais, tais como a soja, milho, arroz, algodão entre outros, ou de culturas anuais e pastagem.

A escolha da cobertura vegetal do solo deve, sempre que possível, ser feita no sentido de obter grande quantidade de biomassa. Plantas forrageiras, gramíneas e leguminosas, anuais ou semiperenes são apropriadas para essa finalidade. Entretanto, preferem-se plantas fixadoras de nitrogênio, com sistema radicular profundo e abundante, para promover a reciclagem de nutrientes. Plantas com diferentes sistemas radiculares, hábitos de crescimento e exigências nutricionais podem ter efeitos na interrupção dos ciclos de pragas e doenças, na redução de custos e no aumento de produtividade da cultura principal, como a soja (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA- EMBRAPA SOJA, 2006).

As culturas anuais, destinadas a produção de grãos, associadas a outras espécies recuperadoras do solo, são condições básicas para a condução de sistemas de produção. Dentre essas espécies, as forrageiras (anuais, semiperenes e perenes) constituem fortes agentes biológicos recuperadores dos solos. Essa premissa leva a concluir que a atividade pecuária é uma forma eficiente para o manejo do ambiente rural (EMBRAPA, 2003).

O consórcio da cultura da soja com forrageiras é realizado em menor expansão de área devido à limitação relacionada ao porte da cultura. A soja é a principal cultura na região Centro-Oeste e, se viabilizado o consórcio com as forrageiras, pode se tornar uma tecnologia utilizada em larga escala (MACHADO; WEISMANN, 2007).

## **2.2. Atributos físicos do solo e produtividade da cultura da soja**

De modo geral, o solo mantido no seu estado natural, sob vegetação nativa, apresenta ótimas características físicas, como a permeabilidade, estrutura, densidade do solo e porosidade adequada ao desenvolvimento normal das plantas (ANDREOLA et al., 2000). Nessas condições, o volume de solo explorado pelas raízes é relativamente grande. À medida que o solo vai sendo submetido ao uso agrícola, suas propriedades físicas sofrem alterações, geralmente desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal (SPERA et al., 2004).

Pesquisas de Baeumer e Bakermans (1973) e Douglas et al. (1980) demonstraram que o sistema plantio direto proporcionou aumento de densidade do solo e da microporosidade nas camadas superficiais do perfil. Concomitantemente, houve redução dos

valores da porosidade total e macroporosidade. Isto foi devido, principalmente, a compactação, em função do não-revolvimento do solo neste sistema (ANDREOLA et al., 2000).

A densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo têm sido utilizadas para indicar restrições ao desenvolvimento de plantas. Assim, Unger e Kaspar (1994) destacaram que a compactação do solo reduz o crescimento das plantas, principalmente quando o suprimento de água e nutrientes é insuficiente, fato verificado quando as raízes se desenvolvem acima das camadas compactadas (CORREA, 2002).

Os atributos físicos do solo relacionados com a produtividade das culturas podem ser divididos em duas categorias. A primeira relacionada àqueles diretamente envolvidos com o desenvolvimento das plantas, a saber, a água, oxigênio, resistência à penetração das raízes e temperatura, os quais afetam diferentes processos fisiológicos tais como a fotossíntese, crescimento radicular e foliar. Já a segunda relaciona os indiretamente, tais como a textura, agregação, porosidade e densidade do solo, que afetam a produtividade das culturas devido à influência sobre a retenção de água, aeração, temperatura, e a resistência do solo à penetração das raízes (SILVA; NOGUEIRA JUNIOR, 2001).

Na região Centro-Oeste do Brasil, áreas sob vegetação de cerrado vêm sendo gradativamente substituídas por culturas anuais, pastagens e reflorestamentos. Os solos sob vegetação nativa dos cerrados normalmente revelam favoráveis propriedades físicas. Contudo, a partir do momento em que eles são utilizados para a produção agropecuária, com uso intensivo de práticas agrícolas, ocorrem modificações das suas características originais. De modo geral, verifica-se um aumento da densidade do solo, assim como da resistência mecânica à penetração, e diminuição da sua porosidade total (CENTURION; DEMATTÊ, 1985, ALBUQUERQUE et al., 1995).

Vários trabalhos demonstram que o tipo de exploração agrícola afeta alguns atributos físicos de solo (ALBUQUERQUE et al., 1995, ANDREOLA et al., 2000). Tem sido apregoado que o sistema de rotação de culturas sob plantio direto, incluindo espécies com sistema radicular agressivo e com diferentes quantidades de fitomassa, pode alterar as propriedades físicas e químicas do solo, proporcionando melhoria na produtividade das culturas (DA ROS et al., 1997, SANTOS; TOMM, 1999, ALBUQUERQUE et al., 2001).

A estrutura do solo diz respeito ao arranjo das partículas e sua organização em agregados. Próximo da superfície a estrutura é afetada pelo preparo e uso do solo e, nos horizontes mais profundos, ela é um dos atributos mais importantes, pois está relacionada com a disponibilidade de ar e água às raízes das plantas, suprimento de nutriente e bom

desenvolvimento do sistema radicular. A manutenção de um bom estado de agregação é condição primordial para garantir altas produtividades agrícolas (CORREA, 2002).

### **2.3. Importância da variabilidade dos atributos do solo**

A variabilidade do solo tem sido muito estudada, ocupando os mais diferentes contextos da pesquisa. É universalmente aceito que o uso do solo, com o passar do tempo, conduz a um aumento de sua heterogeneidade, tendo, como exemplo, o desmatamento (SANTOS; VASCONCELOS, 1987), no nivelamento da terra para aumentar a eficácia da irrigação (KNIGHTON; JAMES, 1985), nos estudos envolvendo rotações de culturas (O'HALLORAN et al., 1985), como nos locais onde os fertilizantes têm sido aplicados em faixas ou em linhas (MELSTED; PECK, 1973), fazendo com que o sistema de amostragem possa variar consideravelmente.

O aumento da heterogeneidade do solo, com seu uso e manejo, ocorre tanto lateral como verticalmente. Os sistemas conservacionistas de manejo do solo criam um ambiente diferente daquele encontrado no sistema convencional, resultante dos efeitos dos resíduos superficiais e da reduzida movimentação sobre suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Como resultado, tem-se encontrado um acúmulo superficial de fertilizantes nos sistemas conservacionistas, representando novos desafios para sua amostragem (TYLER, 1985).

Trabalhos têm sido conduzidos sobre as relações entre a variabilidade espacial do solo e a variabilidade da produtividade da cultura. Alguns resultados obtidos são, inclusive, contraditórios, possivelmente porque os aspectos envolvidos em tal interação precisam ser mais bem conhecidos (SOUZA, 1992).

Samra et al. (1988) e Bhatti et al. (1991), constataram variabilidade da produtividade da cultura agrícola acompanhando a do solo. Bressler et al. (1981) verificaram maior variabilidade para o solo do que para os componentes de produção de amendoim, enquanto que Trangmar et al. (1987) obtiveram o oposto para soja. Cassel et al. (1988) apresentaram dados mostrando a variabilidade da produção de milho em quatro sistemas de cultivo, sem apresentar dados de variabilidade no solo que serviriam de suporte às observações feitas.

O conhecimento da variabilidade do solo é importante para o planejamento experimental agrícola, uma vez que exerce influência sobre a definição do tamanho, forma e distância entre as parcelas experimentais, para que sejam uniformes e independentes entre si, assim como para a definição do tipo de delineamento a ser usado, visando-se evitar a

interferência da correlação espacial nos efeitos dos tratamentos. Isto é particularmente importante em situações onde a variabilidade do solo é alta, como se espera que aconteça em diferentes condições do seu manejo (SOUZA, 1992).

O manejo pode conduzir, gradualmente, a uma melhoria da qualidade do solo agrícola até alcançar a excelência expressa por, entre outras propriedades, elevado potencial produtivo. Em sentido oposto, o manejo errôneo adotado pode conduzir a um processo de regressão da qualidade do solo até alcançar a degradação, que se expressa por baixas produtividades (VEZZANI, 2001). O sistema plantio direto é uma das mais eficientes estratégias para melhoria da qualidade e do potencial produtivo do solo agrícola. No entanto, esta melhoria não se manifesta de forma homogênea em toda a área. Em uma mesma lavoura é possível encontrar subáreas com diferentes níveis de qualidade e, portanto, com diferentes potenciais produtivos, embora as práticas de manejo adotadas tenham sido aplicadas uniformemente (AMADO et al., 2005).

Dampney e Moore (1999) sugeriram análise do histórico de desenvolvimento das culturas a fim de caracterizar a variabilidade espacial existente na área. Assim, o mapeamento de produtividade, proporcionado pelas ferramentas da agricultura de precisão (AP), destaca-se como alternativa moderna para gerenciar a variabilidade espacial e temporal de lavouras comerciais, orientando práticas de manejo (MOLIN, 1997, MILANI et al., 2006).

Mapas de produtividade podem ser utilizados na investigação das causas da variabilidade, e podem ser um recurso eficaz nas decisões sobre o manejo do solo (MOLIN, 1997, MANTOVANI, 2006). O manejo localizado, evidenciado pela aplicação de insumos com taxas variáveis, tendeu a apresentar produtividades mais homogêneas e superiores ao manejo uniforme (MILANI et al., 2006). Tal aplicação, no entanto, requer acompanhamento e análise de mapas de produtividade, considerando um histórico de várias safras e de diferentes culturas para que sejam contempladas as variabilidades temporais e espaciais (BLACKMORE et al., 2003). Assim, a caracterização da variabilidade na produtividade deve ser feita mediante a investigação de pelo menos três anos de mapeamento (MANTOVANI, 2006, SANTI, 2007). No Brasil, ainda são escassas as áreas que possuem um conjunto de mapas de produtividade que permitam esta análise temporal.

#### **2.4. Aspectos estatísticos relacionados com o estudo da variabilidade espacial do solo**

No estudo da variabilidade do solo, podem ser utilizados basicamente dois enfoques que diferem na forma de análise dos dados. Os métodos estatísticos classicamente aplicados

às amostras de populações exigem a validade de algumas hipóteses básicas, como a independência entre as observações e a distribuição normal dos dados. A geoestatística, que vem apresentando aplicação crescente na avaliação da variabilidade espacial de atributos de interesse em ciências agrárias, permite a interpretação dos resultados com base na estrutura da sua variabilidade natural, considerando a existência da dependência espacial dentro do espaço de amostragem (CARVALHO, 1991).

Quando uma determinada propriedade do solo varia de um local para outro, com algum grau de organização ou continuidade, expresso pela dependência espacial, a estatística clássica deve ser revista e dar lugar a uma estatística relativamente nova: a geoestatística. Por estatística clássica entende-se aquela que se utiliza de parâmetros como a média e o desvio padrão para representar um fenômeno, e baseia-se na hipótese principal de que as variações de um local para outro são aleatórias e com distribuição normal. Desse modo, estes dois ramos da estatística têm validade de aplicação em condições distintas. Para se determinar qual das duas deve ser usada, em cada caso, é utilizado o semivariograma, o qual expressa a dependência espacial entre as amostras (VIEIRA, 1997).

Caso a variabilidade espacial não ocorra ao acaso, uma ferramenta mais adequada deve ser usada, conhecida na atualidade como geoestatística. Originalmente aplicada em mineração, tornou-se indispensável para a análise e descrição detalhada da variabilidade espacial dos atributos do solo. Nesse sentido, a teoria das variáveis regionalizadas tornou-se de extrema importância para análise dessa variabilidade, indicando o número e a distribuição de amostras a serem coletadas, sem prejuízos para a representatividade final dos dados (GREGO; VIEIRA, 2003).

No entanto, sabe-se que devido aos fatores de formação, o solo apresenta heterogeneidade, tanto vertical quanto horizontal. Em condições de campo, a única heterogeneidade considerada é aquela estabelecida na direção de sua profundidade. A heterogeneidade presente horizontalmente no solo não é levada em consideração em pequenas distâncias, somente o sendo nas grandes, possibilitando, dessa forma, a divisão do terreno em glebas homogêneas (GONTIJO et al., 2003).

A heterogeneidade dos atributos do solo sob agricultura intensiva é comum, afetando diferenciadamente o desenvolvimento e a produtividade das culturas. Essa variabilidade, muitas vezes não é puramente aleatória, mas apresenta dependência espacial ocasionada por diversos fatores, como indicado em vários trabalhos (VIEIRA, 1995, VIEIRA, 1997, COUTO et al., 2000; SILVEIRA et al., 2000). Também, é resultante do processo natural de formação do solo e variações no relevo (SILVA et al., 1989, COUTO et al., 2000, SOUZA et al., 2004a,

CAMPOS et al., 2007), da erosão (ALBUQUERQUE et al., 1996, SALVIANO et al., 1998, SOUZA et al., 2003), do manejo e das práticas agrícolas utilizadas (PAZ-GONZÁLEZ et al., 2000, TREVISAN, 2005, CORÁ e BERALDO, 2006), da sistematização de solos (DARIVA, 2001) e da construção de solos em áreas de mineração (GUADAGNIM, 2002, LEITZKE, 2002), agindo em diferentes escalas no espaço e no tempo (JAYNES; COLVIN, 1997).

O cultivo do solo altera seus atributos iniciais, por meio de práticas agrícolas usuais como calagem, adubação e outras práticas de manejo (SANTOS; VASCONCELOS, 1987, KLEPKER; ANGHINONI, 1995, COUTO et al., 1997, SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000, PAZ-GONZÁLEZ et al., 2000, CORÁ; BERALDO, 2006). Da mesma forma, o desenvolvimento e a produção das culturas apresentam variabilidade espacial (ABREU et al., 2003, SILVA et al., 2004) de acordo com o comportamento das propriedades físicas ou químicas do solo mais limitantes ao desenvolvimento da planta, sendo fatores importantes de análise para o planejamento e a avaliação de experimentos e de lavouras comerciais. A utilização de delineamentos experimentais baseados na repetição e na casualização exige que as observações sejam independentes umas das outras e que as parcelas experimentais sejam uniformes quanto às variáveis estudadas, o que nem sempre ocorre em parcelas no campo.

A necessidade de se obter estimativas das propriedades do solo, e planejar pesquisas de forma mais econômica, tem feito com que se procurem métodos mais racionais e quantitativos para o estudo das variabilidades intrínsecas dos solos (WEBSTER, 1985).

Atualmente, a pesquisa da ciência do solo tem se apoiado na geoestatística que, juntamente com a estatística descritiva, tem dado inúmeras respostas às mais variadas questões existentes que, até então, eram ignoradas (CARVALHO et al., 2003). Tradicionalmente, os experimentos agrícolas utilizam a estatística clássica para planejamento e avaliação dos resultados, baseando-se na independência entre as amostras e em técnicas como a casualização e repetição. A análise dos dados é feita sob a hipótese de independência estatística ou distribuição espacial aleatória, o que permite o uso de métodos estatísticos como a análise de variância e de parâmetros como o coeficiente de variação. No entanto, em vista da necessidade de repetição, em muitos casos, o número de amostras necessário para um estudo adequado torna-se muito grande, o que é particularmente limitante em estudos de física do solo, que utilizam métodos mais laboriosos e de custo mais elevado, sobretudo na fase de campo.

A geoestatística tem sido usada com bastante sucesso em estudos de física do solo, pois se baseia em uma função aleatória contínua estacionária, a qual pode ser submetida a uma grande gama de hipóteses. Na prática, a existência de estacionariedade dá a oportunidade

de se repetir um experimento mesmo que as amostras devam ser coletadas em pontos diferentes, porque todas são consideradas pertencentes à mesma população e com os mesmos momentos estatísticos (VIEIRA, 2000). Por esse motivo, os estudos de variabilidade espacial visam compreender o comportamento espacial de um determinado atributo para a sua utilização em agricultura de precisão, possibilitando que a amostragem seja realizada com o menor número possível de amostras sem apresentar riscos para a representabilidade desse atributo. Embora a geoestatística contribua muito no planejamento e entendimento da variabilidade espacial do fenômeno, os erros inerentes aos diversos métodos de caracterização de um atributo têm um papel bastante importante na variabilidade dos dados (SIQUEIRA et al., 2008).

Na geoestatística, a dependência espacial apresentada pelos dados pode ser estimada pelo semivariograma, pressuposto da estacionaridade inerente à hipótese intrínseca, que é a representação gráfica do ajuste de modelos matemáticos aos dados observados. Por outro lado, o semivariograma cruzado é a representação gráfica da dependência espacial existente entre duas variáveis (primária e secundária) que apresentem correlação espacial entre si (RIBEIRO JUNIOR, 1995, CARVALHO et al., 1998, ZIMBACK; CATANEO, 1998, VIEIRA, 2000).

Atualmente, no Brasil, a pesquisa geoestatística vem sendo implementada com o intuito de mensurar as correlações lineares e espaciais entre atributos do solo e características agronômicas das culturas. Dessa forma, os valores de alcances das dependências espaciais observados para alguns atributos do solo e da planta foram entre: a) 23,0 e 60,6 m, para densidade do solo (SANTOS et al., 2006, LIMA et al., 2007, ROSA FILHO, 2008) e b) 6,1 e 41,1 m, para a produtividade de grãos de milho, feijão e soja (SANTOS et al., 2005, SANTOS et al., 2006, CARVALHO et al., 2006, FREDDI et al., 2006, ROSA FILHO, 2008, REICHERT et al., 2008). Já com relação ao avaliador da dependência espacial (ADE), os valores observados para alguns atributos do solo e da planta foram entre: a) 50,1 a 72,2%, para a densidade do solo (SANTOS et al., 2006, LIMA et al., 2007) e b) 50,1 a 82,1%, para a produtividade de grãos de milho, feijão e soja (SANTOS et al., 2005, SANTOS et al., 2006, CARVALHO et al., 2006, FREDDI et al., 2006, ROSA FILHO, 2008, SIQUEIRA et al., 2008, REICHERT, et al., 2008).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Caracterização do local de origem dos dados**

O trabalho foi desenvolvido em área irrigada (pivô central), na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão - Setor de Produção Vegetal, da Faculdade de Engenharia/UNESP - Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria (MS), entre as latitudes de 20°18'05"S e 20°18'28"S e as longitudes de 52°39'02"W e 52°40'28"W. Sua precipitação média anual é de 1300 mm, enquanto que a temperatura média é de 23,7 °C. O tipo climático é Aw, segundo Koeppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo, onde a malha experimental foi instalada (DEMATTE, 1980), reclassificado<sup>(1)</sup> segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006b), é um Latossolo Vermelho Distroférico típico textura argilosa, A moderado, hipodistrófico, álico, caulínítico, férrico, muito profundo, moderadamente ácido.

#### **3.2. Caracterização inicial do solo pesquisado**

O solo, onde se estabeleceu a pesquisa, possuía na superfície palha e restos culturais da cultura antecedente, ou seja, milho safrinha. Assim, com objetivo de caracterizá-lo inicialmente, isto é, antes do preparo do solo e da instalação da malha experimental, foi efetuado um levantamento do estado da compactação do solo, como também da situação de sua fertilidade. Para a avaliação da compactação do solo foram tomados, de forma aleatória na área, vinte perfis, estratificados em 0,0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, para a

---

<sup>(1)</sup> CARVALHO, M. P. Comunicação pessoal. 2008. (Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos - Faculdade de Engenharia – FE/UNESP, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil).



determinação das relações massa/volume (densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total). Da mesma forma, foram determinados vinte perfis de tradagem para a coleta do solo com estrutura deformada, realizados com um trado de caneca. O solo contido nas amostras compostas, originadas das vinte amostras simples estratificadas em função de três profundidades (0,0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m), foram destinados às análises químicas para fins de fertilidade (Quadros 1 e 2).

**Quadro 1** - Caracterização química inicial nas camadas de 0,0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m do solo na semeadura da soja na área experimental. Selvíria-MS, 2005.

| Prof.            | P resina            | M.O.               | pH                | K   | Ca | Mg | H+Al | Al | SB   | CTC  | V  |
|------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---|----|----|------|----|------|------|----|
| m                | mg dm <sup>-3</sup> | g dm <sup>-3</sup> | CaCl <sub>2</sub> | -----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |    |    |      |    |      |      | %  |
| <b>0,0- 0,10</b> | 24                  | 28                 | 4,6               | 4,2   | 17 | 9  | 42   | 3  | 30,2 | 72,2 | 42 |
| <b>0,10-0,20</b> | 21                  | 22                 | 4,7               | 3,2   | 18 | 7  | 36   | 2  | 28,2 | 64,2 | 44 |
| <b>0,20-0,30</b> | 4                   | 17                 | 4,8               | 2,2   | 14 | 4  | 31   | 1  | 20,2 | 51,2 | 39 |

**Quadro 2** - Caracterização da macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo das camadas de 0,0-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m anterior a semeadura da soja na área experimental. Selvíria-MS, 2005.

| Profundidade       | DS                     | Macro                                     | Micro | PT    |
|--------------------|------------------------|---|-------|-------|
| (m)                | (kg dm <sup>-3</sup> ) | .....m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ..... |       |       |
| <b>0,0 - 0,10</b>  | 1,499                  | 0,078                                     | 0,326 | 0,405 |
| <b>0,10 - 0,20</b> | 1,482                  | 0,083                                     | 0,324 | 0,407 |
| <b>0,20 - 0,30</b> | 1,505                  | 0,111                                     | 0,325 | 0,437 |

### 3.3. Implantação e condução da planta-teste pesquisada

A planta-teste pesquisada foi a soja (*Glycine max* (L.) Merrill), semeada em novembro de 2005. A cultivar de soja semeada foi a BRS 133, ciclo semiprecoce, recomendada para região de São Paulo e Mato Grosso do Sul, segundo Embrapa (1997a). O cultivo foi conduzido segundo as instruções agrícolas para as principais culturas econômicas do Estado de São Paulo (FAHL et al., 1998), sendo que a colheita ocorreu em meados de março de 2006. O espaçamento entre linhas foi de 0,45 m, com uma densidade final de 15 plantas por metro na linha de semeadura. Ainda, segundo a mesma recomendação da Embrapa (1997a), na semeadura da cultura da soja, as sementes foram tratadas com fungicida carbendazin (30 g i.a. 100 kg semente) e inoculadas com Biotech (*Bradyrhizobium japonicum*), e foram utilizados 250 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 08-28-16 na adubação para a cultura da soja. No manejo fitossanitário, realizou-se a aplicação de herbicida para folhas largas bentazon (600 g do i.a. ha<sup>-1</sup>), inseticida cipermetrin (200 g i.a. ha<sup>-1</sup>) e endossulfan (525 g do i.a. ha<sup>-1</sup>) e fungicida tebuconazole (100 g do i.a. ha<sup>-1</sup>).

### 3.4. Implantação e caracterização da malha experimental utilizada para coleta dos atributos pesquisados

Foram definidas as direções *x* e *y* do sistema de coordenadas cartesianas, num lançante da cultura da soja estabelecido entre dois terraços agrícolas. Para tanto, foi utilizado um nível ótico comum, efetuando-se o estaqueamento global da malha experimental. A malha experimental (Figura 01) ficou constituída de cinco transeções com 100,0 m de comprimento, espaçadas de 10,0 m, com pontos amostrais na forma de 10,0 m x 10,0 m, contendo 55 pontos amostrais. Entretanto, foram alocados, dentro da grande malha, pontos com espaçamentos menores do que 10,0 m x 10,0 m (1,67 m x 1,67 m, e 5,0 m x 5,0 m), visando detalhar o estudo da dependência espacial dos dados para condições de menores espaçamentos todos alocados na entrelinha da cultura. Portanto, o total de pontos amostrais foi de 124, numa área total de 4000 m<sup>2</sup>.

A Figura 1 apresenta o esquema da malha experimental alocada num Latossolo Vermelho distroférrico da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE/UNESP) em Selvíria/MS sob plantio direto.

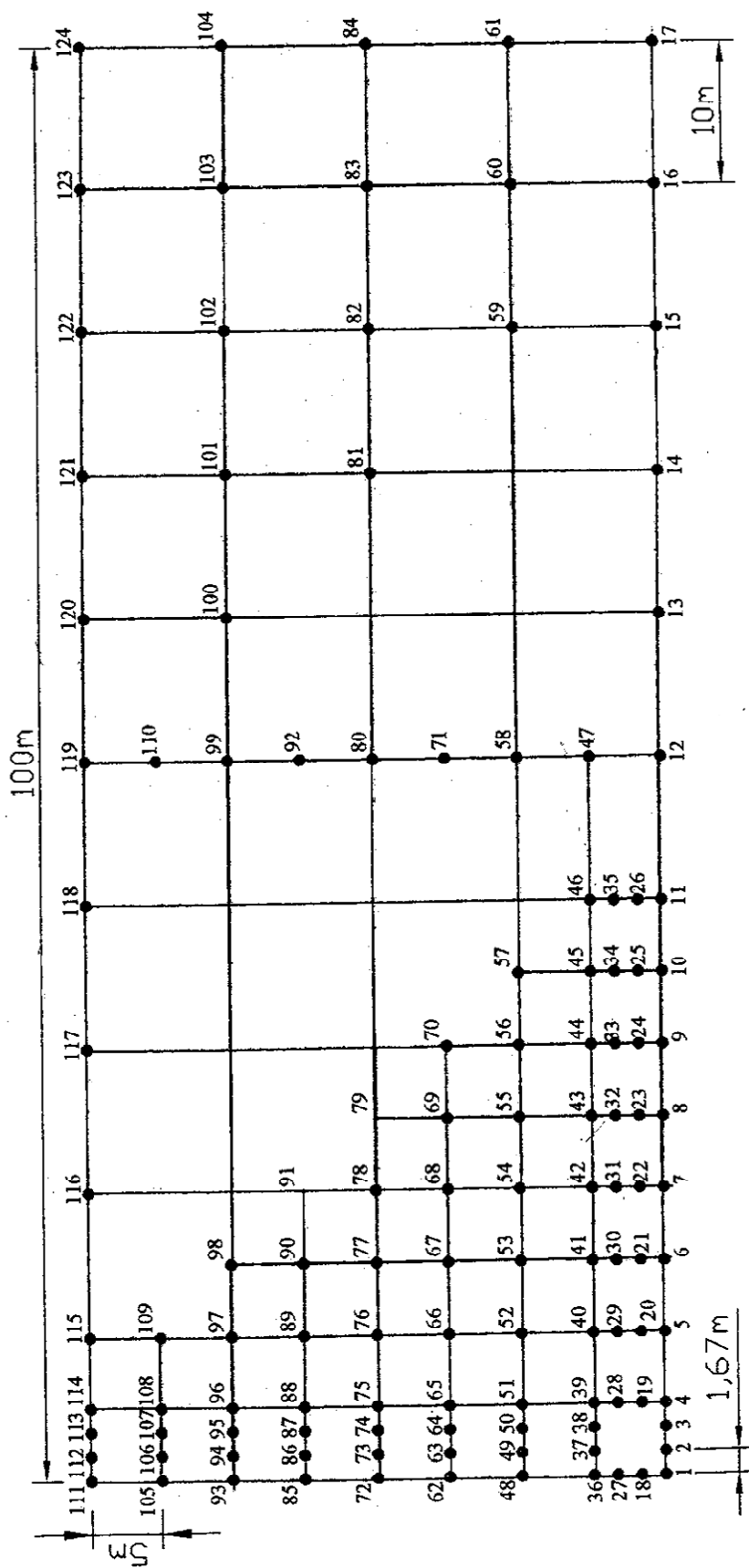


Figura 01 Esquema da malha experimental alocada num Latossolo Vermelho Distoférico da Fazenda de Ensino e pesquisa - Cerrado (FE-IS/Unesp) em Selvíria sob plantio direto.

### 3.5. Coleta e metodologia de determinação dos atributos pesquisados

Foram pesquisados os atributos do solo e da planta, todos individualmente coletados no entorno de cada ponto amostral da malha experimental. Os atributos do solo foram: a) porosidade total (PT), b) macroporosidade (MA), c) microporosidade (MI), d) densidade do solo (DS), e e) teor de matéria orgânica (MO). Os da planta foram: a) altura média de plantas (AP), b) altura média de inserção da primeira vagem na planta (AV), c) número médio de vagens por planta (NV), d) número médio de grãos por planta (NG), e) massa de mil grãos (MM), e f) produtividade de grãos (PG).

Os atributos do solo foram originados de monólitos com estrutura indeformada para a PT, MA, MI e DS, ao passo que para a MO foi com estrutura deformada. Efetuaram-se as coletadas em três profundidades do solo, a saber: a) zero-0,10 m, b) 0,10-0,20 m, e c) 0,20-0,30 m. Desta forma, a **DS** foi determinada pelo Método do Anel Volumétrico (EMBRAPA, 1979; 1997b), relacionada em  $[\text{kg dm}^{-3}]$ . Já a **PT**, **MA** e a **MI** foram determinadas pelo Método da Mesa de Tensão (EMBRAPA, 1979, 1997b), relacionadas em  $[\text{m}^3 \text{ m}^{-3}]$ . A **MO** foi determinada pela seguinte expressão:

$$\text{MO} = \text{C} \times 1,724 \times 10 \dots \dots \dots (01)$$

onde : **MO** é o teor de matéria orgânica do solo  $[\text{g dm}^{-3}]$  e **C** o teor de carbono orgânico  $[\text{g dm}^{-3}]$ . Assim, o carbono orgânico foi determinado pelo Método Colorimétrico da Combustão Úmida (Raij et al., 1987). Todos eles foram determinados no Laboratório de Análises Físicas e Químicas do Solo da Faculdade de Engenharia-FE/UNESP/Campus de Ilha Solteira.

Os atributos da planta foram obtidos em função de amostras coletadas no entorno do ponto amostral estaqueado. Para isso, tais amostras foram originadas da coleta de todas as plantas, quando considerado que todo ponto amostral conteve quatro linhas de semeadura, as quais abrigaram uma largura de 1,80 m. Uma vez que foi considerada a mesma distância para o comprimento, a área de coleta de plantas de cada ponto amostral foi de 3,24 m<sup>2</sup>. Após coleta, todos os componentes de produção foram determinados no Laboratório de Análises de Sementes da Faculdade de Engenharia/UNESP - Campus de Ilha Solteira. Foram realizadas as seguintes avaliações em dez plantas amostrais e efetuada a média para cada componente:

- **AP** (distância entre o colo e o ápice da haste principal das plantas de soja) e **AV** (distância entre o colo da planta e a inserção da primeira vagem na soja), ambas relacionadas em [m].

- **NV** (obtido através da contagem total das vagens nas plantas amostradas, dividindo-se pelo número das mesmas) e o **NG** (obtido através da contagem total dos grãos nas plantas amostradas, dividindo-se pelo número das mesmas), foram adimensionais.

- **MM** (obtido através da pesagem de mil grãos coletados das plantas amostradas) dada em [g] e a **PG** (coletadas em torno do ponto amostral, todas as plantas foram secas ao sol e posteriormente trilhada mecanicamente. Os grãos foram pesados e os dados transformados em  $[\text{kg ha}^{-1}]$ (13% de base úmida);

Considerando-se que o solo estudado foi estratificado em três profundidades, a relação final dos seus quinze atributos foi à seguinte: a) camada de 0,0 - 0,10 m: PT1, MA1, MI1, DS1 e MO1; b) camada de 0,10-0,20 m: PT2, MA2, MI2, DS2 e MO2, e c) camada de 0,20-0,30 m: PT3, MA3, MI3, DS3 e MO3. Os da planta foram: AP, AV, NV, NG, MM e PG. Finalmente, em relação à época de coleta dos atributos (solo e planta) estudados, os do solo foram coletados após da colheita da soja (março/2006). Os da planta o foram coletados no dia da colheita da soja e mensurados depois da colheita.

### **3.6. Análise estatística dos atributos estudados**

A análise estatística dos atributos estudados foi realizada no Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, pertencente à Faculdade de Engenharia/ UNESP - Campus de Ilha Solteira - SP. Ficou constituída da análise descritiva inicial, análise de regressão e da análise geoestatística dos dados.

#### **3.6.1. Análise descritiva inicial dos dados**

Para cada atributo estudado foi efetuada a análise descritiva inicial dos dados pelo emprego da estatística clássica, pela utilização do SAS (SCHLOTZHAVER; LITTEL, 1997), para o cálculo da média, mediana, valores mínimo e máximo, desvio padrão, coeficiente de variação, curtose e assimetria. Posteriormente, efetuou-se a análise da distribuição de frequência dos atributos. Desta forma, para testar a hipótese de normalidade, ou de lognormalidade dos dados, utilizou-se o teste de Shapiro e Wilk (1965) a 1%. Nele, a estatística W testa a hipótese nula, que julga ser a amostra proveniente de uma população com distribuição normal. Assim, no caso de dados transformados na forma logarítmica ( $y = \ln x$ ),

W testa a hipótese nula de que os valores  $y_i$  provêm de uma distribuição normal, isto é, os dados não transformados ( $w_i$ ) ajustam-se a uma distribuição lognormal. Todo este procedimento foi efetuado sem a retirada de um único ponto amostral aberrante (*outlier*). A correção dos *outliers* foi efetuada, atributo por atributo caso existiam, da seguinte forma, exclusivamente pela análise descritiva fornecida pelo SAS. Primeiramente, identificou-se a presença do *outlier*, no gráfico de ramos e folhas e no *boxplot*, pela localização da marca do asterisco com a designação do respectivo valor. Posteriormente, confirmou-se a existência de tal *outlier*, na parcela de probabilidade normal, que normalmente acusa-o com um posicionamento bastante distanciado da nuvem de pontos amostrais obtidos. Finalmente, a correção do *outlier* foi procedida pelo cálculo da média aritmética dos valores dos pontos vizinhos que o circundam na malha de estudo, discriminando-se seu valor médio no local de tal *outlier*.

### **3.6.2. Análise de regressão**

Foi montada a matriz de correlação, objetivando efetuar as regressões lineares para todas as combinações possíveis, quando tomados, dois a dois, todos os atributos estudados (solo e planta). Assim, procurou-se selecionar aqueles de maior correlação linear, objetivando analisar aqueles que poderiam apresentar semivariograma cruzado e a conseqüente co-krigagem. Efetuaram-se todas as regressões lineares simples e estatisticamente significativas, entre as variáveis dependentes (planta) e independentes (solo), visando-se elucidar tais relações entre causa e efeito. Também, conjuntamente com todas as camadas estudadas do solo, efetuou-se a regressão linear múltipla entre as variáveis dependentes da planta e independentes do solo, objetivando selecionar aquelas que, nos devidos casos, proporcionassem as melhores relações entre causa e efeito, avaliadas pelo aumento do coeficiente de determinação. Para tanto, foram utilizados o Excel e o pacote computacional SAS.

### **3.6.3. Análise geoestatística**

Para cada atributo pesquisado, analisou-se a dependência espacial pelo cálculo do semivariograma, com base nos pressupostos de estacionaridade da hipótese intrínseca, com o

pacote computacional *Gamma Design Software* (GS<sup>+</sup>, 2004). Foram ajustados semivariogramas simples a todos os atributos estudados, da planta (PG, AV, AP, NV, NG e MM) e do solo (MA1, MA2, MA3, MI1, MI2, MI3, PT1, PT2, PT3, DS1, DS2, DS3, MO1, MO2 e MO3). Posteriormente, ajustaram-se semivariograma cruzados entre os atributos: a) planta x planta, b) planta x solo e c) solo x solo. 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 pela seleção inicial de: a) a menor soma dos quadrados dos desvios (**RSS**); b) o maior coeficiente de determinação espacial (**r<sup>2</sup>**) e c) o maior avaliador da dependência espacial (**ADE**). A decisão final do modelo que representou o ajuste foi realizada por meio da validação cruzada, assim, como também para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionou a melhor rede de krigagem e/ou co-krigagem. Para cada atributo foram relacionados o efeito pepita (**C<sub>o</sub>**), alcance (**A<sub>o</sub>**) e o patamar (**C<sub>o</sub>+C**). A análise do avaliador da dependência espacial (**ADE**) foi efetuada conforme a seguinte expressão (GS<sup>+</sup>, 2004):

$$\text{ADE}=[C/(C+C_o)].100\text{.....(02)}$$

onde: **ADE** é o avaliador da dependência espacial (%); **C** é a variância estrutural; **C+C<sub>o</sub>** é o patamar.

Segundo Robertson (1998) considera-se: a) fraca dependência espacial, para o **ADE** ≤ 25%; b) média dependência espacial, para 25% < **ADE** ≤ 75%, e c) forte dependência, para o **ADE** > 75%.

A validação cruzada é uma ferramenta destinada a avaliar modelos alternativos de semivariogramas, simples e cruzados, que efetuarão respectivamente a krigagem e a co-krigagem. Assim, trabalhando-se na obtenção do número ideal de vizinhos, foram obtidos, por meio de interpolação, os mapas de krigagem e de co-krigagem, para a análise da dependência e da interdependência espacial entre os atributos pesquisados, sobretudo, objetivando-se elucidar quais atributos do solo melhor explicam espacialmente falando, a produtividade de grãos da soja.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Análise descritiva dos dados

#### 4.1.1. Variabilidade dos atributos estudados

##### 4.1.1.1. Atributos da planta

A variabilidade de um atributo, avaliada pela grandeza do coeficiente de variação (CV), pode ser classificada segundo Pimentel Gomes e Garcia (2002) como: a) baixa ( $CV \leq 10\%$ ), b) média ( $10\% < CV \leq 20\%$ ), c) alta ( $20\% < CV \leq 30\%$ ) e d) muito alta ( $CV > 30\%$ ).

O Quadro 3 apresenta a análise descritiva dos atributos estudados em Selvíria (MS), onde a produtividade de grãos (PG) da cultura da soja apresentou um coeficiente de variação muito alto 30,4%. Assim, esses dados ficaram acima do obtido por Rosa Filho (2005; 2008), que foram de baixa a média variabilidade (7% e 13,7%) respectivamente, quando trabalhando com o mesmo solo e cultivar de soja que o do presente estudo. Também foi superior a Johann et al. (2004) que obtiveram alta variabilidade (23%), quando trabalharam num Latossolo Bruno Distrófico de Cascavel, (PR) e a Amado et al. (2007) trabalhando em um Latossolo Vermelho Distrófico, em Palmeira das Missões (RS) sob sistema de plantio direto, alcançaram alta variabilidade no quinto ano de cultivo com soja (24%). Por outro lado, a altura de plantas (AP) e massa de mil grãos (MM) resultaram em baixas variabilidades, respectivamente de 6,9 e 6,2%, concordando com Narimatsu (2004) e Rosa Filho (2008) para a MM quando trabalharam num Latossolo Vermelho Distrófico e Distroférrico em Selvíria. Para altura de inserção da primeira vagem (AV) e número de vagens por planta (NV) apresentaram média variabilidade, demonstrando coeficiente de variação de 11,6 e 19,1%. Já para número de grãos por planta (NG) com um coeficiente de variação de 20,8 considerou-se com alta variabilidade.



Quadro 3 Análise descritiva inicial de alguns atributos da produtividade da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférico. Selvíria, MS (2005/2006).

| Medidas estatísticas descritivas      |       |         |               |        |             |         |                                       |        |                      |    |
|---------------------------------------|-------|---------|---------------|--------|-------------|---------|---------------------------------------|--------|----------------------|----|
| Atributo <sup>(a)</sup>               | Valor |         | Desvio Padrão |        | Coeficiente |         | Probabilidade do teste <sup>(b)</sup> |        |                      |    |
|                                       | Média | Mediana | Mínimo        | Máximo | Varição (%) | Curtose | Assimetria                            | Pr<w   | DF                   |    |
| <i>Atributos da planta</i>            |       |         |               |        |             |         |                                       |        |                      |    |
| PG (kg ha <sup>-1</sup> )             | 3270  | 3097    | 2509          | 5469   | 993,2       | 30,4    | -0,519                                | -0,245 | 0,047                | LN |
| AP (cm)                               | 68,0  | 68,4    | 53,0          | 79,8   | 4,69        | 6,9     | 0,420                                 | -0,125 | 0,609                | NO |
| AV (cm)                               | 16,3  | 16,5    | 12,0          | 22,3   | 1,90        | 11,6    | 0,441                                 | 0,251  | 0,291                | NO |
| NV                                    | 36,6  | 36,4    | 18,4          | 56,6   | 6,99        | 19,1    | 0,588                                 | 0,466  | 0,066                | NO |
| NG                                    | 72,1  | 71,9    | 39,8          | 111,4  | 14,97       | 20,8    | -0,030                                | 0,381  | 0,143                | NO |
| MM (g)                                | 79,2  | 79,5    | 64,8          | 93,2   | 4,93        | 6,2     | 0,630                                 | 0,056  | 0,388                | NO |
| <i>Atributos do solo</i>              |       |         |               |        |             |         |                                       |        |                      |    |
| MA1 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | 0,056 | 0,048   | 0,010         | 0,139  | 0,031       | 55,0    | -0,762                                | 0,525  | 0,003                | IN |
| MA2 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | 0,054 | 0,050   | 0,005         | 0,106  | 0,030       | 55,6    | -1,107                                | 0,191  | 0,003                | IN |
| MA3 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | 0,061 | 0,061   | 0,010         | 0,137  | 0,031       | 51,7    | -0,821                                | 0,297  | 0,002                | IN |
| MI1 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | 0,370 | 0,365   | 0,312         | 0,452  | 0,035       | 9,4     | -0,774                                | 0,420  | 6,0.10 <sup>-4</sup> | IN |
| MI2 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | 0,372 | 0,370   | 0,314         | 0,454  | 0,034       | 9,1     | -0,548                                | 0,481  | 1,2.10 <sup>-3</sup> | IN |
| MI3 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | 0,384 | 0,383   | 0,306         | 0,460  | 0,033       | 8,6     | -0,615                                | 0,032  | 0,368                | NO |
| PT1 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | 0,425 | 0,426   | 0,365         | 0,502  | 0,028       | 6,5     | 0,143                                 | 0,291  | 0,336                | NO |
| PT2 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | 0,426 | 0,423   | 0,368         | 0,499  | 0,026       | 6,2     | 0,149                                 | 0,445  | 0,088                | NO |
| PT3 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | 0,443 | 0,440   | 0,386         | 0,519  | 0,026       | 5,7     | 0,676                                 | 0,514  | 0,027                | TN |
| DS1 (kg dm <sup>-3</sup> )            | 1,517 | 1,515   | 1,319         | 1,647  | 0,068       | 4,5     | -0,200                                | -0,333 | 0,092                | NO |
| DS2 (kg dm <sup>-3</sup> )            | 1,490 | 1,487   | 1,261         | 1,630  | 0,067       | 4,5     | 0,332                                 | -0,185 | 0,033                | NO |
| DS3 (kg dm <sup>-3</sup> )            | 1,441 | 1,438   | 1,246         | 1,615  | 0,069       | 4,8     | 0,457                                 | -0,091 | 0,462                | NO |
| MO1 (g dm <sup>-3</sup> )             | 28,3  | 28,0    | 19,3          | 39,8   | 4,590       | 16,2    | -0,517                                | 0,137  | 0,072                | LN |
| MO2 (g dm <sup>-3</sup> )             | 24,2  | 22,9    | 16,9          | 34,7   | 3,840       | 15,9    | -0,248                                | 0,270  | 0,028                | TL |
| MO3 (g dm <sup>-3</sup> )             | 21,1  | 20,5    | 10,2          | 32,0   | 4,880       | 23,1    | -0,564                                | 0,001  | 0,109                | NO |

<sup>(a)</sup> PG = produtividade de grãos da soja; AP = altura da planta; AV = altura de inserção da primeira vagem; NV = número de vagens por planta; NG = número de grãos por planta; MM = massa de mil grãos; MA, MI, PT, DS e MO, de 1 a 3, são respectivamente a macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e o teor de matéria orgânica do solo coletados nas camadas estudadas; <sup>(b)</sup> DF = distribuição de frequência dos dados, sendo NO, LN, TN e IN respectivamente do tipo normal, lognormal, tendendo a normal e indeterminada.

#### 4.1.1.2. Atributos do solo

No Quadro 3, a variabilidade para macroporosidade do solo em diferentes profundidades (MA1, MA2 e MA3) ficou muito alta, variando de 51,7 a 55,6%. Tais dados concordaram com aqueles de Carvalho et al. (2002), Souza et al. (2004a) e Rosa Filho (2008), nos quais, ao trabalharem com Latossolos Vermelhos Distróficos e Distroférico, tais valores foram, respectivamente, de 36%, 39% e 31%. Contudo, discordam com Souza et al. (2001), Mesquita et al. (2003) e Secco et al. (2005), nos quais, ao trabalharem, respectivamente, com um Latossolo Vermelho Distrófico e Latossolo Vermelho-Amarelo, foram de 16, 20 e 25%.

Em relação à microporosidade (MI), porosidade total (PT) e densidade do solo (DS), todas apresentaram baixa variabilidade, com coeficiente de variação entre 4,5-9,4%. Dados estes que corroboram com os de Macedo et al. (1998), Souza et al. (2001), Carvalho et al. (2002), Mesquita et al. (2003), Johann et al. (2004), Secco et al. (2005), Santos et al. (2006) e Rosa Filho (2008), os quais variaram entre 4-9%, quando, respectivamente, trabalharam com um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Nitossolo Vermelho Eutrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Latossolo Vermelho Distrófico e Latossolo Vermelho Distroférico e Latossolo Bruno Distrófico (Quadro 3).

A variabilidade da matéria orgânica do solo (MO) ficou entre média para MO1 e MO2 (15,9 e 16,2%) e alta para MO3 (23,1%). Segundo Reichert et al. (2008) pesquisando em um Planossolo Hidromórfico Distrófico em Santa Maria (RS), mensurou variabilidade muito alta. Souza et al. (1992) e Silveira et al. (2002) trabalhando num Latossolo Vermelho, observaram baixo coeficiente de variação (<14%), no sistema plantio direto, onde, devido a não incorporação dos resíduos culturais esperava-se maior variabilidade na camada superficial do solo (Quadro 3).

#### 4.1.2. Distribuição de frequência e valores médios dos atributos estudados

##### 4.1.2.1. Distribuição de frequência dos atributos

Para os atributos estudados da planta, todas as variáveis (AP, AV, NV, NG e MM) exceto a produtividade de grãos da soja (PG), que apresentou-se como do tipo lognormal, apresentaram distribuição de frequência do tipo normal, onde suas respectivas medidas de tendência central deverão ser representadas pelos valores médios. Os coeficientes de assimetria positiva ficaram entre 0,056 e 0,251, assim, como a negativa entre -0,245 e -0,125.

Já os coeficientes de curtose positiva ficaram entre 0,420 e 0,630, assim como as negativas entre -0,030 e -0,519 (Quadro 3).

Nos atributos estudados do solo, a microporosidade (MI3), porosidade total (PT1 e PT2), densidade do solo (DS1, DS2 e DS3) e matéria orgânica (MO3) apresentaram distribuição de freqüência do tipo normal, onde suas respectivas medidas de tendência central deverão ser representadas pelos valores médios.

Para MO1, demonstrou-se como do tipo lognormal, para MO2, o tipo tendendo a lognormal e para porosidade do solo (PT3) distribuição de freqüência do tipo tendendo a normal. As demais variáveis do solo (MA1, MA2, MA3, MI1 e MI2) apresentaram do tipo indeterminado. Os coeficientes de assimetria positiva ficaram entre 0,032 e 0,525, assim, como a negativa entre -0,091 e -0,333. Já os coeficientes de curtose positiva ficaram entre 0,143 e 0,676, assim como as negativas entre -0,200 e -1,107. Contudo, e independentemente de tais coeficientes, todos foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), uma vez que a respectiva probabilidade variou entre 0,066 e 0,609 (Quadro 3).

Dessa forma, a distribuição de freqüência do tipo normal, obtida para a maioria dos atributos estudados no trabalho, ficou de acordo com os seguintes autores, classificados conforme atributo: a) PG (SANTOS et al., 2005, MARINS, 2006, CARVALHO et al., 2006, FREDDI et al., 2006, SANTOS et al., 2006, ROSA FILHO, 2008), b) MA (MESQUITA et al., 2003, SOUZA et al., 2004), c) MI (CARVALHO et al., 2002, 2003, MESQUITA et al., 2003, SOUZA et al., 2004), d) PT (CARVALHO et al., 2003, MESQUITA et al., 2003, SOUZA et al., 2004, SANTOS et al., 2006), e) DS (CARVALHO et al., 2003, MESQUITA et al., 2003, SOUZA et al., 2004, MARINS, 2006, SANTOS et al., 2006) e f) MO (REICHERT et al., 2008).

#### **4.1.2.2. Valores médios dos atributos**

##### **4.1.2.2.1. Atributos da planta**

A produtividade da cultura da soja apresentou-se acima da média nacional. O mesmo foi observado para altura de plantas e altura de inserção da primeira vagem, importantes para a colheita mecanizada e tratos culturais.

O valor mediano da PG foi de 3097,00 kg ha<sup>-1</sup> (Quadro 3), ficando abaixo daquele de Secco et al., (2004) e Rosa Filho (2008), cujos valores foram 3373,0 e 3317,5 kg ha<sup>-1</sup>

respectivamente. A produtividade de soja apresentou-se 10% acima da média nacional, que foi de 2809 kg ha<sup>-1</sup> para a safra 2006/2007 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2007). Isso provavelmente se deve pelo fato da cultura ter recebido água e nutrientes suficientes para seu bom desenvolvimento na fase reprodutiva (R5, R6 e R7 - início da granação, granação plena e maturidade fisiológica, respectivamente), mesmo apresentando compactação nas camadas superficiais do solo.

Por outro lado, o valor médio de MM (79,2 g) ficou inferior a média nacional (153,2 g), provavelmente por apresentarem grãos menores. Discordando do presente trabalho de Rosa Filho (2008) trabalhando num mesmo solo, obteve valores médios de MM (148,9 g) semelhantes ao encontrado por Narimatsu (2004) trabalhando com soja num Latossolo Vermelho distroférico.

Os valores médios de altura de plantas (AP) foram 68,0 cm, de altura de inserção da primeira vagem (AV) de 16,3 cm e número de vagens por planta (NV) de 36,6. Gouvêa Filho (2003), trabalhando com soja cultivar Conquista num Latossolo Vermelho Distroférico em Selvíria - MS obteve valores superiores aos encontrados no presente estudo, 91 cm, 25,2 cm e 44 para altura de planta, altura de inserção da primeira vagem e número de vagens por planta, respectivamente. Entretanto, Queiroz (2005) observou valores médio inferiores; 53,0 cm, 12,8 cm e 19,0, para altura de planta, altura de inserção da primeira vagem e número de vagens por planta, respectivamente.

Segundo Queiroz (2005), fatores como déficit hídrico e temperaturas elevadas, influenciaram no desenvolvimento das plantas, principalmente na altura e o número de vagens das mesmas, o que pode ter influenciado no resultado do experimento, pois ocorreu déficit hídrico deste período (Anexo) por o pivô central não estar em plena atividade.

O valor médio de NG foi de 72,1 grãos por planta, valores estes considerados baixos, podendo ser explicado pela compactação do solo (densidade do solo elevada) e deficiência de água neste período, o que pode ter influenciado no desenvolvimento do sistema radicular e conseqüentemente, no desenvolvimento nos componentes de produção da cultura da soja. Segundo Câmara (1999, sp.), a deficiência hídrica nos estádios R3 e R4 (início da frutificação e frutificação plena) e R5, R6 e R7 (início da granação, granação plena e maturidade fisiológica), resultam em maior abortamento e chochamento de vagens e menor número de grãos e grãos mais leves, conseqüentemente menor produtividade. Segundo Lazarini (2001, p.107), a região de Selvíria MS pode ser considerada de alto risco para a semeadura da soja,

devido a elevadas temperaturas que ocorrem durante o verão e com grandes probabilidades de ocorrência de veranicos.

#### 4.1.2.2.2. Atributos do solo

No geral observou-se um solo compactado, com baixo volume de macroporos e elevada densidade do solo, o que provavelmente poderá interferir significativamente na produtividade da cultura. Por outro lado o teor de matéria orgânica apresentou valores adequados para solos de cerrado.

Os valores médios de macroporosidade (MA1 de  $0,056 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , MA2 de  $0,054 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e MA3 de  $0,061 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), microporosidade (MI1 de  $0,370 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , MI2 de  $0,372 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e MI3 de  $0,384 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e porosidade total do solo (PT1 de  $0,425 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , PT2 de  $0,426 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e PT3 de  $0,443 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), foram muito semelhantes em todas as profundidades do solo (Quadro 3). Eles indicaram que as diferentes camadas estudadas encontravam-se compactadas, tornando-se um fator limitante para a máxima expressão da produtividade de soja, prejudicada tanto pelo deficiente crescimento radicular quanto pelas conseqüentes carências proporcionadas à absorção nutricional. Isso porque, seus valores ficaram aquém daqueles do solo considerados ideal do ponto de vista agrônômico, que é de  $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  de macroporosidade, cuja função é de aeração do solo,  $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  de microporosidade, responsável pelo armazenamento de água e  $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  de porosidade total, conforme preceitos de Kiehl (1979).

Para a densidade do solo foram observados valores médios entre  $1,441$  a  $1,517 \text{ kg dm}^{-3}$  (DS1, DS2 e DS3), corroborando a presença de compactação do solo nas camadas estudadas, uma vez que seus valores ficaram maiores que os encontrados por Oliveira e Moniz (1975), quando trabalharam num Latossolo Vermelho Distroférrico em condições de solo virgem sob mata natural ( $0,98$  e  $1,13 \text{ kg dm}^{-3}$ ). Por outro lado, no sistema plantio direto tal compactação pode ocorrer devido ao trânsito de máquinas e implementos agrícolas no solo, assim como ao tempo de adoção do sistema, sem que, contudo, seja efetuada uma prática conservacionista do solo que venha a reverter o processo (ASSIS, 2002). Dessa forma, os valores encontrados no presente estudo ficaram semelhantes aos encontrados por Secco et al. (2005) e Rosa Filho (2008), cujos valores médios de densidade do solo foram de  $1,45 \text{ kg dm}^{-3}$  e  $1,41 \text{ kg dm}^{-3}$ , respectivamente (Quadro 3).

Os valores medianos de matéria orgânica foram:  $28,0 \text{ g dm}^{-3}$  para MO1,  $22,9 \text{ g dm}^{-3}$  para MO2 e  $21,1 \text{ g dm}^{-3}$  para MO3. Segundo Embrapa (1997) o teor adequado de matéria

orgânica fica entre 22-25 g dm<sup>3</sup>, constatando que a área em estudo apresentava uma quantidade de matéria orgânica devido a presença de cobertura de solo por gramíneas encontrada na área antecedente ao cultivo da cultura da soja, favorecendo o aumento de teor de MO pela decomposição dos restos vegetais.

## **4.2. Análise de regressão entre os atributos estudados**

### **4.2.1. Regressão linear simples**

#### **4.2.1.1. Matriz de Correlação linear simples entre os atributos estudados**

No Quadro 4 está apresentada a matriz de correlação linear simples entre os atributos da soja (PG, AP, AV, NV, NG e MM) e do solo (MA, MI, PT, DS e MO) em diferentes profundidades do solo.

**Quadro 4: Matriz de correlação linear simples entre alguns atributos da produtividade da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférico**

| Atributos <sup>(a)</sup> | Coeficiente de correlação <sup>(b)</sup> |                |                 |                 |                |                |                 |                 |                 |                |                 |                |                 |                 |                 |                 |                |               |                |       |   |
|--------------------------|--|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|----------------|-------|---|
|                          | PG                                       | AP             | AV              | NV              | NG             | MM             | MA1             | MA2             | MA3             | MI1            | MI2             | MI3            | PT1             | PT2             | PT3             | DS1             | DS2            | DS3           | MO1            | MO2   |   |
| AP                       | 0,156                                    | -              | -               | -               | -              | -              | -               | -               | -               | -              | -               | -              | -               | -               | -               | -               | -              | -             | -              | -     | - |
| AV                       | <b>-0,337**</b>                          | <b>0,424**</b> | -               | -               | -              | -              | -               | -               | -               | -              | -               | -              | -               | -               | -               | -               | -              | -             | -              | -     | - |
| NV                       | <b>0,789**</b>                           | -0,023         | <b>-0,301**</b> | -               | -              | -              | -               | -               | -               | -              | -               | -              | -               | -               | -               | -               | -              | -             | -              | -     | - |
| NG                       | <b>0,812**</b>                           | -0,035         | <b>-0,369**</b> | <b>0,745**</b>  | -              | -              | -               | -               | -               | -              | -               | -              | -               | -               | -               | -               | -              | -             | -              | -     | - |
| MM                       | -0,034                                   | -0,076         | 0,070           | 0,050           | 0,036          | -              | -               | -               | -               | -              | -               | -              | -               | -               | -               | -               | -              | -             | -              | -     | - |
| MA1                      | <b>0,295**</b>                           | 0,014          | -0,134          | <b>0,296**</b>  | <b>0,278**</b> | 0,053          | -               | -               | -               | -              | -               | -              | -               | -               | -               | -               | -              | -             | -              | -     | - |
| MA2                      | 0,092                                    | 0,136          | 0,049           | 0,139           | 0,089          | 0,012          | <b>0,556**</b>  | -               | -               | -              | -               | -              | -               | -               | -               | -               | -              | -             | -              | -     | - |
| MA3                      | <b>0,262**</b>                           | 0,114          | -0,014          | <b>0,286**</b>  | <b>0,265**</b> | 0,055          | <b>0,561**</b>  | <b>0,670**</b>  | -               | -              | -               | -              | -               | -               | -               | -               | -              | -             | -              | -     | - |
| MI1                      | <b>-0,204*</b>                           | -0,040         | 0,037           | <b>-0,232**</b> | <b>-0,200*</b> | <b>-0,217*</b> | <b>-0,538**</b> | <b>-0,562**</b> | <b>-0,515**</b> | -              | -               | -              | -               | -               | -               | -               | -              | -             | -              | -     | - |
| MI2                      | -0,099                                   | 0,048          | 0,047           | -0,105          | -0,129         | -0,067         | <b>-0,536**</b> | <b>-0,640**</b> | <b>0,618**</b>  | -              | -               | -              | -               | -               | -               | -               | -              | -             | -              | -     | - |
| MI3                      | -0,154                                   | <b>-0,187*</b> | -0,078          | <b>-0,216*</b>  | -0,144         | -0,146         | <b>-0,489**</b> | <b>-0,562**</b> | <b>0,511**</b>  | <b>0,644**</b> | -               | -              | -               | -               | -               | -               | -              | -             | -              | -     | - |
| PT1                      | 0,036                                    | -0,003         | 0,006           | -0,059          | -0,017         | <b>-0,175*</b> | <b>0,309**</b>  | -0,022          | -0,017          | <b>0,470**</b> | <b>0,181*</b>   | -              | -               | -               | -               | -               | -              | -             | -              | -     | - |
| PT2                      | -0,087                                   | 0,163          | 0,130           | -0,068          | -0,152         | -0,090         | -0,046          | <b>0,285**</b>  | 0,024           | <b>0,170</b>   | <b>0,423**</b>  | <b>0,237**</b> | <b>0,199*</b>   | -               | -               | -               | -              | -             | -              | -     | - |
| PT3                      | 0,061                                    | -0,096         | -0,112          | 0,055           | 0,111          | -0,120         | 0,096           | <b>0,196*</b>   | <b>0,330**</b>  | -0,015         | -0,036          | <b>0,356**</b> | 0,094           | <b>0,254**</b>  | -               | -               | -              | -             | -              | -     | - |
| DS1                      | <b>-0,221*</b>                           | -0,123         | 0,047           | -0,070          | -0,152         | 0,090          | <b>-0,377**</b> | -0,051          | -0,018          | -0,088         | -0,054          | 0,072          | <b>-0,451**</b> | -0,135          | 0,093           | -               | -              | -             | -              | -     | - |
| DS2                      | 0,107                                    | -0,086         | -0,115          | 0,091           | 0,147          | 0,069          | 0,037           | -0,052          | 0,080           | <b>-0,223*</b> | <b>-0,284**</b> | -0,171         | -0,136          | <b>-0,519**</b> | -0,081          | 0,126           | -              | -             | -              | -     | - |
| DS3                      | 0,060                                    | 0,028          | 0,073           | -0,026          | -0,006         | 0,049          | -0,121          | -0,097          | <b>-0,259**</b> | -0,021         | -0,160          | -0,142         | -0,157          | <b>-0,292**</b> | <b>-0,421**</b> | 0,094           | <b>0,290**</b> | -             | -              | -     | - |
| MO1                      | 0,086                                    | -0,030         | -0,007          | 0,013           | 0,155          | -0,014         | <b>-0,176*</b>  | <b>-0,317**</b> | <b>-0,260**</b> | <b>0,188*</b>  | <b>0,185*</b>   | <b>0,181*</b>  | 0,014           | -0,125          | -0,045          | -0,008          | 0,055          | <b>0,227*</b> | -              | -     | - |
| MO2                      | 0,142                                    | 0,062          | -0,013          | 0,109           | 0,102          | <b>0,179*</b>  | -0,124          | <b>-0,360**</b> | <b>-0,242**</b> | <b>0,197*</b>  | <b>0,145</b>    | <b>0,145</b>   | 0,038           | -0,082          | -0,168          | 0,012           | -0,018         | 0,147         | <b>0,383**</b> | -     |   |
| MO3                      | 0,062                                    | -0,032         | -0,107          | -0,024          | 0,039          | -0,037         | 0,067           | 0,021           | 0,005           | -0,004         | 0,036           | 0,036          | 0,099           | 0,132           | -0,067          | <b>-0,281**</b> | -0,014         | 0,104         | <b>0,242**</b> | 0,152 |   |

<sup>(a)</sup> PG, AP, AV, NV, NG e MM são respectivamente a produtividade de grãos da soja, altura da planta, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, número de grãos por planta e a massa de mil grãos; MA, MI, PT, DS e MO, de 1 a 3, são respectivamente a microporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e o teor de matéria orgânica, coletadas nas camadas pesquisadas; <sup>(b)</sup> \* Significativo a 5%, \*\* Significativo a 1%.

#### 4.2.1.1.1. Atributos da planta *versus* atributos da planta

As correlações entre os atributos da planta (Quadro 4) apresentaram significância para os pares PG x AV ( $r = -0,337^{**}$ ), PG x NV ( $r = 0,792^{**}$ ) e PG x NG ( $r = 0,812^{**}$ ), havendo para o segundo e terceiro pares, uma correlação direta entre eles. O par PG x NG foi o que apresentou maior coeficiente de correlação, portanto, de elevado interesse agrícola. Assim é plausível a afirmação de que à medida que aumenta o número de vagens e de grãos por planta (NG) eleva-se a produtividade de grãos da soja (PG). Tal fato é mencionado por Queiroz (2005) e Leal (2005), trabalhando num Latossolo Vermelho Distroférico em Selvíria/MS.

Para PG x AV ocorreu correlação inversa, indicando que com o aumento da altura de inserção da primeira vagem ocorrerá à diminuição da produtividade de soja (Quadro 4). Esta correlação observada deixa de ser interessante à medida que no processo de colheita mecanizada preconiza-se uma altura de inserção de vagens acima de 13 cm (MELLO, 1988 citado por QUEIROZ, 2005), o que evitaria perdas na colheita e consequentemente redução na produtividade das culturas.

#### 4.2.1.1.2. Atributos da planta *versus* atributos do solo

Ao estudar a correlação da produtividade da soja com atributos do solo (Quadro 4), para MA, MI e DS, constatou-se que existe correlação linear significativa entre a PG x MA1 ( $r = 0,295^{**}$ ), PG x MA3 ( $r = 0,262^{**}$ ), PG x MI1 ( $r = -0,204^{*}$ ) e PG x DS1 ( $r = -0,221^{*}$ ). No primeiro e segundo pares foram verificadas correlações diretas, indicando que quando há aumento da macroporosidade do solo há uma tendência ao aumento da produtividade da soja. Assim, o aumento da macroporosidade, nas diferentes camadas do solo em questão, poderá proporcionar uma melhor aeração ao sistema radicular, implicando no aumento da produtividade. Concordando com o trabalho em estudo, Lima et al. (2007) observaram uma correlação direta e significativa ( $r = 0,199^{**}$ ) entre a produtividade de massa seca da forragem do milho e a porosidade total de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

Por outro lado, para o terceiro e quarto pares, respectivamente dados por PG x MI1 e PG x DS1 (Quadro 4), suas correlações foram inversas, indicando que com o aumento da MI1 e DS1 ocorrerá a diminuição da produtividade de soja, provavelmente desencadeada pelo aumento da



quantidade de microporos e densidade do solo e menor desenvolvimento radicular. Portanto em relação à DS1, esse fato ficou de acordo com os trabalhos de Santos et al. (2006), Lima et al. (2007) e Rosa Filho (2008), os quais, respectivamente trabalhando com a produtividade de grãos de milho (Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria, MS), produtividade de massa seca de forragem do milho safrinha (Latossolo Vermelho Distroférico de Pereira Barreto, SP) e produtividade de soja (Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria, MS), obtiveram correlações inversas e significativas com a densidade do solo, respectivamente de  $-0,212^*$ ,  $-0,143^*$  e  $-0,213^*$ .

Analisando a produtividade de soja (cv. IAC Foscarim 31) em função do grau de compactação de um Latossolo Vermelho Eutroférico de Jaboticabal (SP), Beutler et al. (2007) encontraram uma produtividade de  $3.261,0 \text{ kg ha}^{-1}$  e um valor da densidade do solo de  $1,26 \text{ kg dm}^{-3}$ . Já o presente estudo apresentou as seguintes performances; a PG média obtida foi de  $3270,0 \text{ kg ha}^{-1}$  e os valores médios de DS  $1,45 \text{ kg dm}^{-3}$ . Já Faraco et al. (2008) trabalhando num Latossolo Vermelho Distroférico no Paraná, observaram produtividade média da soja de  $3220 \text{ kg ha}^{-1}$ , desvio-padrão de 0,38 e coeficiente de variação (CV) para PG de 11,71 %. Já para a densidade do solo os valores médios foram na ordem de 1,0 a  $1,45 \text{ kg m}^{-3}$ .

Segundo Embrapa (2006a), a cultivar BRS133 é adaptada para as condições de cerrado, isto é, baixo índice pluviométrico e solo com baixa fertilidade. Foi observada uma boa produtividade para solo com reduzido volume de macroporos, isso pode ter ocorrido pelo fato da cultura ter disponibilidade de água pela irrigação favorecendo assim, a absorção dos nutrientes na solução do solo que provavelmente estariam prontamente disponíveis para o sistema radicular.

Para os demais atributos da planta, foram verificadas correlações significativa para os pares: NV x MA1 ( $r = 0,296^{**}$ ), NV x MA3 ( $r = 0,286^{**}$ ), NV x MI1 ( $r = -0,232^{**}$ ), NV x MI2 ( $r = -0,216^*$ ), NG x MA1 ( $r = 0,278^{**}$ ), NG x MA3 ( $r = 0,265^{**}$ ), NG x MI1 ( $r = -0,200^*$ ), MM x MI1 ( $r = -0,217^*$ ) e MM x PT1 ( $r = -0,175^*$ ). As correlações diretas tenderam ao aumento dos atributos da planta (NV e NG) com o aumento dos macroporos do solo (MA1 e MA3). Contrapartida, as correlações inversas, indicaram que com o aumento da MI e conseqüentemente PT1 ocorrerá a diminuição dos atributos da planta (NV, NG e MM), provavelmente desencadeada pela redução do volume de macroporos ocasionada pela compactação no solo, proporcionando redução no desenvolvimento da plantas.

#### 4.2.1.1.3. Atributos do solo *versus* atributos do solo

Ao estudar as correlações dos atributos do solo (Quadro 4), estas apresentaram significância para os atributos MA, MI, PT e DS em diferentes profundidades. Para MA na primeira camada do solo, constatou-se que existe correlação linear significativa entre os pares MA1 x MI1 ( $r = -0,538^{**}$ ), MA1 x PT1 ( $r = 0,309^{**}$ ), MA1 x DS1 ( $r = -0,377^{**}$ ) e MA1x MO1 ( $r = -0,176^*$ ). Já para a segunda camada, os pares MA2 x MI2 ( $r = -0,640^{**}$ ), MA2 x PT2 ( $r = 0,285^{**}$ ) e MA2 x MO2 ( $r = -0,360^{**}$ ) e na terceira camada os pares, MA3 x MI3 ( $r = -0,607^{**}$ ), MA3 x PT3 ( $r = 0,330^{**}$ ) e MA3 x DS3 ( $r = -0,259^{**}$ ).

Para porosidade total do solo (PT), houve correlação direta com a MI nas diferentes profundidades do solo, cujos pares foram; PT1 x MI1( $r = 0,470^{**}$ ), PT2 x MI2 ( $r = 0,423^{**}$ ), e PT3 x MI3( $r = 0,356^{**}$ ). Por outro lado, as correlações foram inversas para DS nas diferentes camadas. Os pares foram: PT1 x DS1( $r = -0,451^{**}$ ), PT2 x DS2 ( $r = -0,519^{**}$ ), e PT3 x MI3( $r = -0,421^{**}$ ) (Quadro 4).

As correlações entre atributos do solo indicaram que com o aumento da MI e DS ocorrerá uma redução do volume de macroporos, diminuição da produtividade de soja, provavelmente desencadeada pela menor respiração radicular que a compactação proporcionou ao solo.

Andreola et al. (2000), relataram que o sistema plantio direto proporcionou aumento de densidade do solo e da microporosidade nas camadas superficiais do perfil. Concomitantemente, houve redução dos valores da porosidade total e macroporosidade, em função do não-revolvimento do solo neste sistema.

#### 4.2.1.2. Regressão linear simples entre os atributos estudados

As principais equações de regressão linear simples entre os atributos pesquisados, no âmbito das correlações estabelecidas entre a planta *versus* planta e planta *versus* solo estão apresentadas no Quadro 5 e nas Figuras 2 e 3. Portanto, os modelos foram exclusivamente apresentados para os pares de atributos que proporcionaram correlações significativas, assim como também apresentaram coeficientes adjuntos significativos para as variáveis independentes.

No âmbito da correlação entre os atributos da planta *versus* planta (Quadro 5), a equação de regressão da PG em função da NV foi representada por um modelo potencial ((Eq. 4; Fig.2b), com um coeficiente de correlação igual a  $0,792^{**}$  significativo a 1% de probabilidade. Assim, a variabilidade da produtividade de grãos de soja (PG) pode ser explicada por 79,2% da variabilidade dos dados de NV da soja. Essa correlação se deve ao fato das vagens se encontrarem na sua grande

maioria cheia, com média de três grãos por vagem, fazendo com que a relação do número de vagens fossem proporcional a produtividade de grãos de soja.

Para a produtividade de soja em função de altura de inserção da primeira vagem por planta e número de grãos por planta se ajustaram ao modelo matemático linear [ $PG = f(AV)$  e  $PG = f(NG)$ ] apresentando relação crescente indireta entre causa e efeito para AV, enquanto relação direta para NG (Quadro 5, Fig. 2a, c). Assim, a PG variou linearmente com AV ( $r = -0,337^{**}$ ), como, PG variou linearmente com NG ( $r = 0,812^{**}$ ). Desta forma presume-se que quanto maior for o NG produzido, maior será sua produção por planta. Enquanto que a AV proporcionará menores valores de produtividade da cultura da soja. No trabalho, a altura de inserção de vagens não influenciou na produtividade de grãos de soja, mesmo sendo um fator primordial para a colheita mecanizada. Adota-se o intervalo entre 10 a 13 cm como o mínimo para colheita mecanizada com reduzidas perdas, no entanto, com o aumento da altura de inserção da primeira vagem, tem-se maior facilidade de colheita com menores perdas, mas também ter-se-á menor espaço para produção de vagens, pois estas tem formação nas gemas axilares e terminais.

No âmbito da correlação entre atributos da planta *versus* solo (Quadro 5), os modelos matemáticos  $PG = f(MA1)$ ,  $PG = f(MA3)$ ,  $PG = f(MI1)$  e  $PG = f(DS1)$ , respectivamente representados na Figura 3 (a, b, c e d), apresentaram uma relação linear direta entre causa e efeito para o primeiro e segundo (Quadro 5, Eq. 6 e 7) e indireta para o terceiro e quarto (Quadro 5, Eq. 8 e 9), evidenciando que a macroporosidade do solo influencia diretamente na produtividade de grãos, onde o aumento de macroporos provavelmente proporcionará um melhor desenvolvimento do sistema radicular e conseqüentemente, maior absorção de água e nutrientes essenciais pela cultura.

Já com relação aos modelos, a macroporosidade (MA1 e MA3), respectivamente, do tipo linear apresentam coeficiente de correlação de  $0,295^{**}$  e  $0,262^{**}$ . Para a microporosidade e densidade do solo na camada superficial, apresentaram modelo linear para ambos, com coeficiente de correlação de  $-0,204^*$  e  $-0,221^*$ , respectivamente. Tais modelos diferiram do modelo quadrático obtido por Beutler et al. (2006, 2007), quando pesquisaram a produtividade de soja em função da DS do solo em dois Latossolos distintos de Jaboticabal (SP).

A microporosidade e densidade de solo influenciam na estruturação do solo na camada superficial, promovendo maior proporção de microporos, menor aeração do solo e maior resistência ao desenvolvimento, em profundidade, do sistema radicular. Esses atributos têm reflexos no rearranjo da estrutura do solo, no aumento de ciclagem e do estoques de nutrientes, no aumento da atividade biológica e na produtividade da cultura.

Quadro 5: Equações e coeficientes da regressão entre atributos da produtividade de soja e de um Latossolo Vermelho Distroférico. Selvíria, MS (2005/2006).

| Modelo matemático <sup>(a)</sup> | Coeficiente do ajuste <sup>(b)</sup> |                          |          | Número da equação |
|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|----------|-------------------|
|                                  | a                                    | b                        | r        |                   |
| <i>Planta x planta</i>           |                                      |                          |          |                   |
| <b>PG = a + b.AV</b>             | 6,142.10 <sup>3</sup>                | -1,776.10 <sup>2**</sup> | -0,337** | <b>(03)</b>       |
| <b>PG = a.NV<sup>b</sup></b>     | 3,048.10 <sup>1</sup>                | 1,292**                  | 0,792**  | <b>(04)</b>       |
| <b>PG = a + b.NG</b>             | -6,156.10 <sup>2</sup>               | 5,386.10**               | 0,812**  | <b>(05)</b>       |
| <i>Planta x solo</i>             |                                      |                          |          |                   |
| <b>PG = a + b.MA1</b>            | 2,735.10 <sup>3</sup>                | 9,523.10 <sup>3**</sup>  | 0,295**  | <b>(06)</b>       |
| <b>PG = a + b.MA3</b>            | 2,766.10 <sup>3</sup>                | 8,256.10 <sup>3**</sup>  | 0,262**  | <b>(07)</b>       |
| <b>PG = a + b.MI1</b>            | 5,417.10 <sup>3</sup>                | -5,807.10 <sup>3*</sup>  | -0,204*  | <b>(08)</b>       |
| <b>PG = a + b.DS1</b>            | 8,208.10 <sup>3</sup>                | -3,256.10 <sup>3*</sup>  | -0,221*  | <b>(09)</b>       |

<sup>(a)</sup> PG = produtividade de grãos da soja; AV = altura de inserção primeira vagem por planta; NV = número de vagens por planta; NG = número de grãos por planta; MA, MI e DS, de 1 a 3, são respectivamente a macroporosidade, microporosidade e a densidade do solo coletadas nas camadas pesquisadas; <sup>(b)\*\*</sup> significativo a 1%, \* significativo a 5%

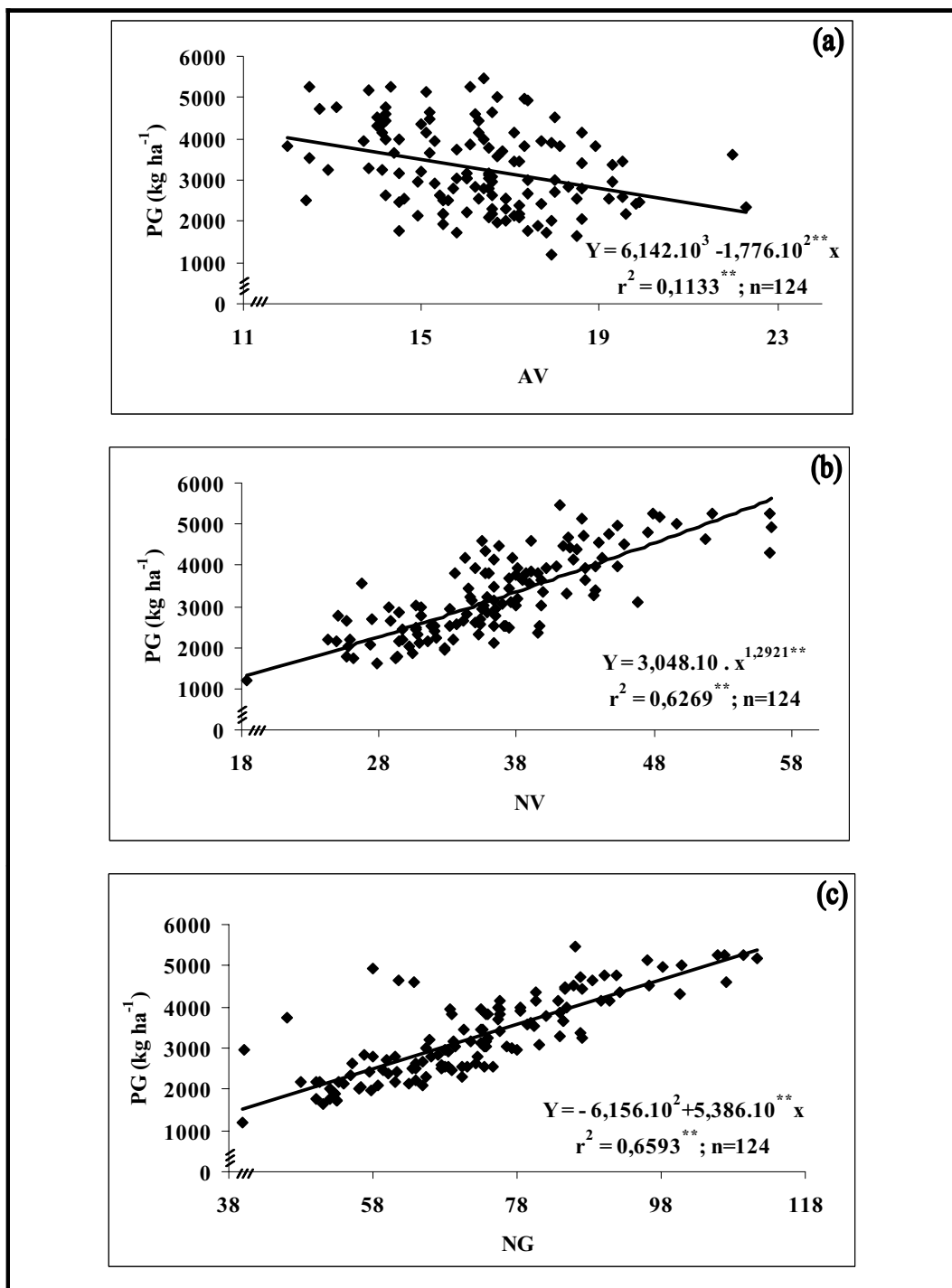


Figura 2: Equação de regressão entre atributos da produtividade da soja num Latossolo Vermelho Distroférico

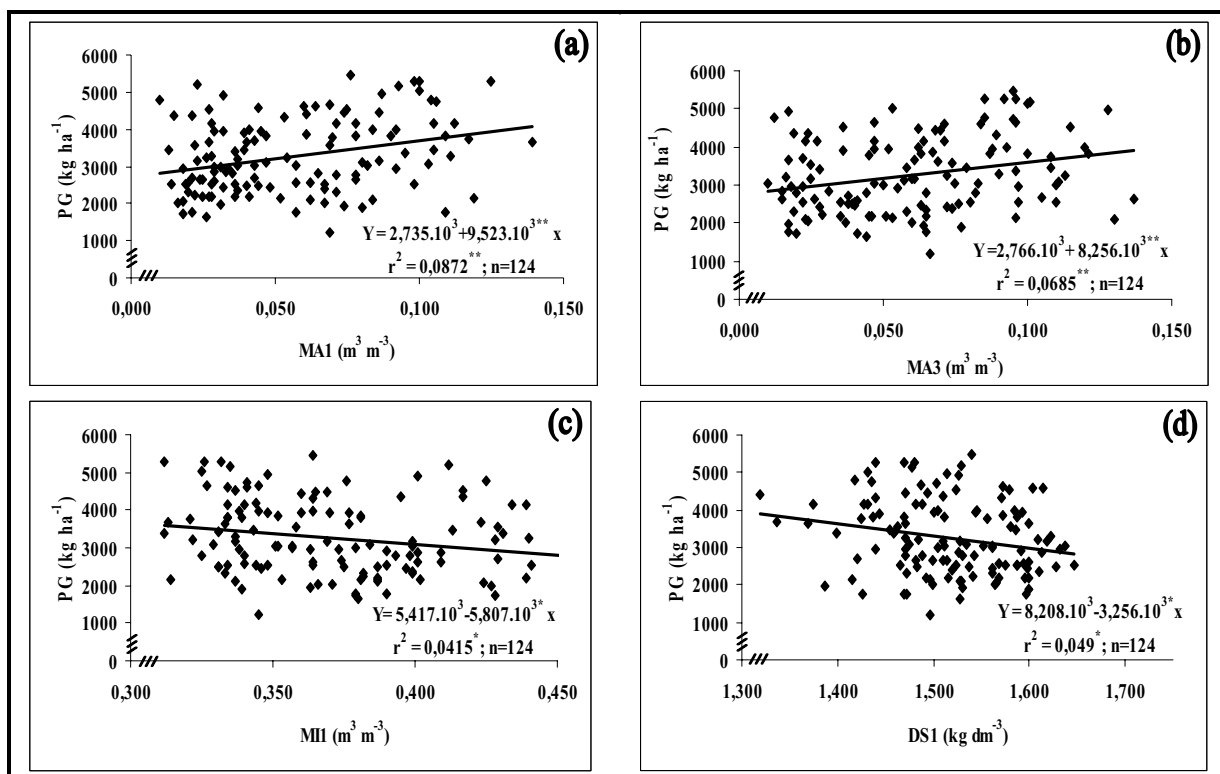


Figura 3: Equação de regressão da produtividade de grãos da soja em função de alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico

### 4.2.1.3. Regressão linear múltipla entre os atributos estudados

Para as análises de regressão linear múltiplas, efetuadas entre cada atributo da planta isoladamente e todos os atributos do solo conjuntamente, não resultaram nenhuma significância estatística, exceto para a produtividade de soja em função dos componentes de produção da planta.

A análise de regressão linear múltipla foi efetuada conforme a seguinte expressão:

$$PG = a + b \cdot AP + c \cdot AV + d \cdot NV + e \cdot NG + f \cdot MM \dots \dots \dots (10)$$

$$r^2 = 0,785^{**}$$

$$a = -2,612 \cdot 10^3$$

$$b = 5,034 \cdot 10^{**}$$

$$c = -7,278 \cdot 10^{**}$$

$$d = 5,757 \cdot 10^{**}$$

$$e = 3,108 \cdot 10^{**}$$

$$f = -8,866$$

No âmbito da correlação múltipla entre a produtividade (PG) em função de todos os atributos da planta (AP, AV, NV, NG e MM) apresentaram um coeficiente de determinação de 0,785\*\*. A produtividade de grãos de soja (PG) pode ser explicada por 78,5% da variabilidade dos componentes de produção da planta da soja.

## 4.3. Análise geoestatística dos atributos estudados

### 4.3.1. Análise semivariográfica simples

#### 4.3.1.1. Ajuste dos semivariogramas simples dos atributos estudados

No Quadro 6 estão apresentados os parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para os componentes de produção da soja e de alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS). Nas Figuras de 4, 5, 6 e 7 foram apresentados seus respectivos semivariogramas. Assim, ficou evidenciado que, com exceção da AV, AP, PT2, PT3, DS1, DS2 e MO3, que apresentaram efeito pepita puro, todos os demais atributos apresentaram dependência espacial.

Quadro 6: Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos da produtividade da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférico. Selvíria, MS (2005/2006).

| Atributo <sup>(a)</sup>                     | Parâmetros            |                        |                        |                   |                |                        | Avaliador da dependência espacial |        |
|---|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------|----------------|------------------------|-----------------------------------|--------|
|   | Modelo <sup>(b)</sup> | Efeito Pepita          | Patamar                | Alcance           | r <sup>2</sup> | SQR <sup>(c)</sup>     | ADE <sup>(d)</sup>                | Classe |
|   |                       | (C <sub>0</sub> )      | (C <sub>0</sub> +C)    | (A <sub>0</sub> ) |                |                        |                                   |        |
| <i>γ(h) simples dos atributos da planta</i> |                       |                        |                        |                   |                |                        |                                   |        |
| PG (kg ha <sup>-1</sup> )                   | exp (525)             | 2,640.10 <sup>5</sup>  | 1,225.10 <sup>6</sup>  | 46,8              | 0,752          | 1,160.10 <sup>11</sup> | 0,765                             | alta   |
| AV  | epp                   | 3,651                  | 3,651                  | -                 | -              | -                      | -                                 | -      |
| AP  | epp                   | 2,167.10               | 2,167.10               | -                 | -              | -                      | -                                 | -      |
| NV  | exp (287)             | 1,779.10               | 4,176.10               | 25,2              | 0,688          | 7,870.10               | 0,550                             | média  |
| NG  | esf(82)               | 9,320.10               | 1,880.10               | 24,0              | 0,732          | 3,287.10 <sup>3</sup>  | 0,504                             | média  |
| MM  | exp (77)              | 9,860                  | 1,973.10               | 46,8              | 0,834          | 1,680.10               | 0,500                             | média  |
| <i>γ(h) simples dos atributos do solo</i>   |                       |                        |                        |                   |                |                        |                                   |        |
| MA1 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )       | gau (94)              | 3,630.10 <sup>-4</sup> | 1,076.10 <sup>-3</sup> | 34,3              | 0,947          | 5,240.10 <sup>-8</sup> | 0,663                             | média  |
| MA2 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )       | esf (89)              | 1,410.10 <sup>-4</sup> | 9,620.10 <sup>-4</sup> | 27,8              | 0,860          | 1,232.10 <sup>-7</sup> | 0,853                             | alta   |
| MA3 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )       | esf (285)             | 8,800.10 <sup>-5</sup> | 1,146.10 <sup>-3</sup> | 34,8              | 0,926          | 7,394.10 <sup>-8</sup> | 0,923                             | alta   |
| MI1 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )       | esf (332)             | 4,240.10 <sup>-4</sup> | 1,308.10 <sup>-3</sup> | 25,7              | 0,880          | 6,653.10 <sup>-8</sup> | 0,676                             | média  |
| MI2 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )       | gau (76)              | 3,000.10 <sup>-4</sup> | 1,210.10 <sup>-3</sup> | 29,3              | 0,885          | 2,033.10 <sup>-7</sup> | 0,752                             | alta   |
| MI3 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )       | esf (91)              | 4,940.10 <sup>-4</sup> | 9,980.10 <sup>-4</sup> | 31,6              | 0,870          | 4,419.10 <sup>-8</sup> | 0,505                             | média  |
| PT1 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )       | gau (102)             | 5,994.10 <sup>-4</sup> | 8,518.10 <sup>-4</sup> | 41,7              | 0,590          | 9,528.10 <sup>-8</sup> | 0,296                             | média  |
| PT2 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )       | epp                   | 6,840.10 <sup>-4</sup> | 6,840.10 <sup>-4</sup> | -                 | -              | -                      | -                                 | -      |
| PT3 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )       | epp                   | 6,370.10 <sup>-4</sup> | 6,370.10 <sup>-4</sup> | -                 | -              | -                      | -                                 | -      |
| DS1 (kg dm <sup>-3</sup> )                  | epp                   | 4,590.10 <sup>-3</sup> | 4,590.10 <sup>-3</sup> | -                 | -              | -                      | -                                 | -      |
| DS2 (kg dm <sup>-3</sup> )                  | epp                   | 4,470.10 <sup>-3</sup> | 4,470.10 <sup>-3</sup> | -                 | -              | -                      | -                                 | -      |
| DS3 (kg dm <sup>-3</sup> )                  | esf (78)              | 1,805.10 <sup>-3</sup> | 3,790.10 <sup>-3</sup> | 15,6              | 0,896          | 3,161.10 <sup>-7</sup> | 0,524                             | média  |
| MO1 (g dm <sup>-3</sup> )                   | esf (87)              | 4,760                  | 1,490.10               | 15,0              | 0,338          | 1,310.10 <sup>2</sup>  | 0,681                             | média  |
| MO2 (g dm <sup>-3</sup> )                   | exp (67)              | 4,000                  | 1,121.10               | 14,3              | 0,428          | 2,610.10               | 0,643                             | média  |
| MO3 (g dm <sup>-3</sup> )                   | epp                   | 2,386.10               | 2,386.10               | -                 | -              | -                      | -                                 | -      |

<sup>(a)</sup>PG = produtividade de grãos da soja, AV= altura de inserção da primeira vagem, AP= altura da planta, NV = número de vagens por planta, NG = número de grãos por planta, MM = massa de mil grãos; MA, MI, PT, DS e MO, de 1 a 3, são respectivamente a macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e o teor de matéria orgânica do solo coletados nas camadas estudadas; <sup>(b)</sup> esf = esférico, exp = exponencial, gau = gaussiano, e epp = efeito pepita puro; parênteses após o modelo semivariográfico significa o número de pares no primeiro lag; <sup>(c)</sup> SQR = soma dos quadrados dos resíduos; <sup>(d)</sup> ADE = avaliador da dependência espacial



No tocante ao desempenho dos semivariogramas (Quadro 6), a relação decrescente deles, analisada pela grandeza do coeficiente de determinação espacial ( $r^2$ ), foi a seguinte: 1)MA1 (0,947), 2)MA3 (0,926), 3) DS3 (0,896), 4) MI2 (0,885), 5) MI1 (0,880), 6) MI3 (0,870), 7) MA2 (0,860), 8) MM (0,834), 9) PG (0,752), 10)NG (0,732), 11) NV (0,688), 12) PT1 (0,590), 13) MO2 (0,428) e 14) MO1 (0,338). Assim, em relação à macroporosidade na primeira e terceira camadas, apresentaram os maiores coeficientes de determinação espacial, observando-se os melhores ajustes semivariográficos, concordando com aqueles observados por Souza et al. (2001) num Latossolo Vermelho Distrófico cultivado no sistema de semeadura direta com soja. O modelo gaussiano ajustou-se para MA1 e esférico para MA2 e MA3. Concordando com o presente estudo, Rosa Filho (2008) pesquisando o mesmo solo, observou modelo esférico para MA. O alcance para MA variou entre 27,8 e 34,8 m, valores superiores aos encontrados por Souza et al. (2001) variando entre 16,2 e 27,2 m. Para densidade do solo (DS3) ajustou-se ao modelo esférico, corroborando com Santos et al. (2006), entretanto, discordando com Lima et al (2007) e Rosa Filho (2008) os quais observaram o modelo gaussiano.

O alcance da DS3 foi 15,6 m, maior que encontrado por Rosa Filho (2008) de 9,0 m e menor que observado por Lima et al. (2007) de 23,3 m.

A microporosidade ajustou-se ao modelo esférico para MI1 e MI3 e ao gaussiano para MI2, cujos alcances variaram entre 25,7 e 31,6 m. Valores inferiores foram mensurados por Souza et al. (2001) de 14,7 e 20,9 m.

Para a produtividade de grãos de soja ajustou-se ao modelo exponencial com (PG, Quadro 6) valor de  $r^2$  de 0,752. Santos et al. (2005) e Santos et al. (2006), trabalhando com feijão e milho encontraram valores superiores variando entre 0,868 e 0,958. Assim, como discordaram de valores inferiores observados por Carvalho et al. (2006) na cultura do feijão e semelhantes aos de Freddi et al. (2006), nos quais variou entre 0,598 e 0,798 para a cultura do milho. Reichert et al.(2008), observaram para produtividade de grãos de soja,  $r^2$  de 0,99 e alcance de 44,4 m, valores superiores aos mencionados no presente trabalho. Ainda os mesmos autores verificaram para altura de plantas (AP) um  $r^2$  de 0,89 e alcance de 11,38 m, ajustado ao modelo exponencial, diferindo do atual estudo que observou efeito pepita puro para AP.

Milani et al. (2006) e Amado et al. (2007), trabalhando num Latossolo Vermelho, encontraram modelos exponencial e esférico ajustados aos semivariogramas, respectivamente para a cultura da soja. Já Reichert et al. (2008) trabalhando num Planossolo Hidromórfico distrófico em

Santa Maria (RS), observou que a variabilidade espacial da produtividade de soja foi descrita pelo modelo gaussiano com alcance menor que 45m.

Os atributos da planta NV e MM ajustaram ao modelo exponencial com alcance 25,2 e 46,8 respectivamente. Já para NG ajustou-se ao modelo esférico cujo alcance foi de 24,0 m. Em relação ao ADE, para PG observou-se um alto valor (76,5%). Santos et al. (2005) verificaram valor de 50,1% no feijão, assim como, Santos et al. (2006), Carvalho et al. (2006) e Freddi et al. (2006) observaram valores entre 73,1, 80,0 e 82,1% para milho e feijão.

No Quadro 6, a relação decrescente dos alcances foi a seguinte: 1) PG e MM (46,8 m), 2) PT1 (41,7 m), 3) MA3 (34,8 m), 4) MA1 (34,3 m), 5) MI3 (31,6 m), 6) MI2 (29,3 m), 7) MA2 (27,8 m), 8) MI1 (25,7 m), 9) NV (25,2 m), 10) NG (24,0 m), 11) DS3 (15,6 m), 12) MO1 (15,0 m) e 13) MO2 (14,3 m). Portanto, nas condições da presente pesquisa, assim como, visando auxiliar pesquisas futuras, nas quais 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 14,0 m. Por outro lado, exclusivamente para os atributos da planta, não menores do que 24,0 m.

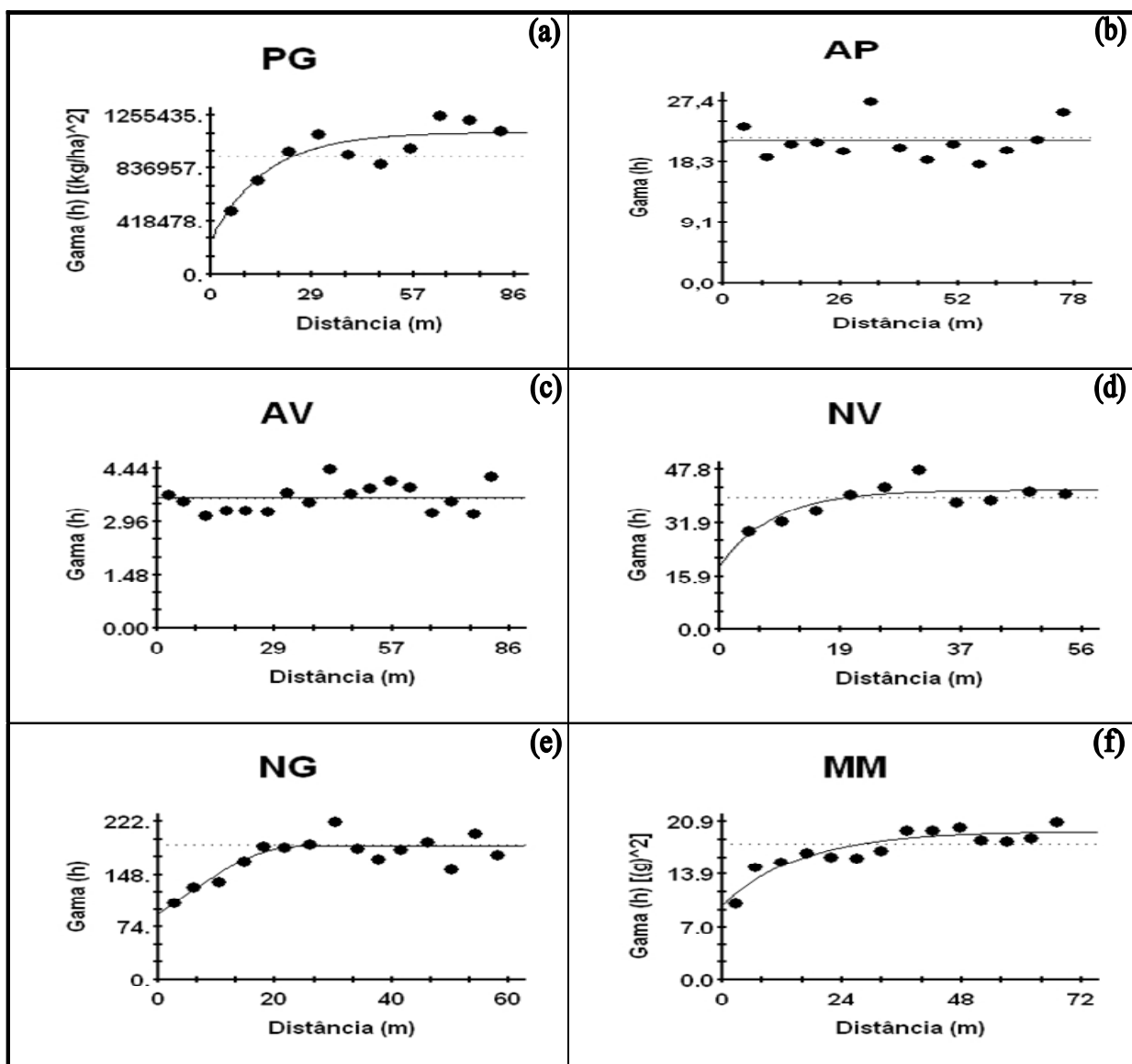


Figura 4: Semivariogramas simples dos atributos da produtividade da soja num Latossolo Vermelho Distroférico

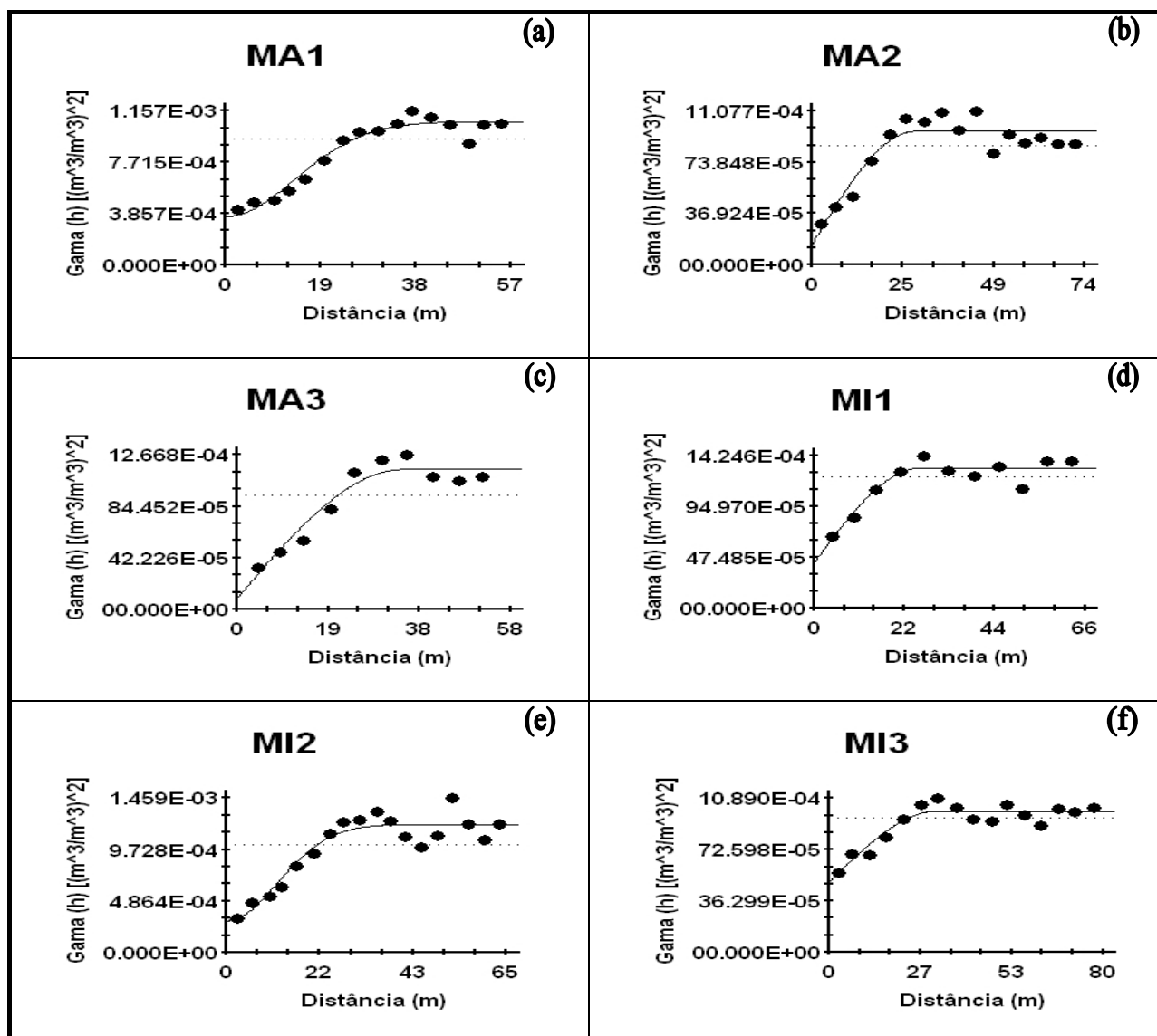


Figura 5: Semivariograma simples da macroporosidade e da microporosidade avaliadas em diferentes profundidades num Latossolo Vermelho Distroférico

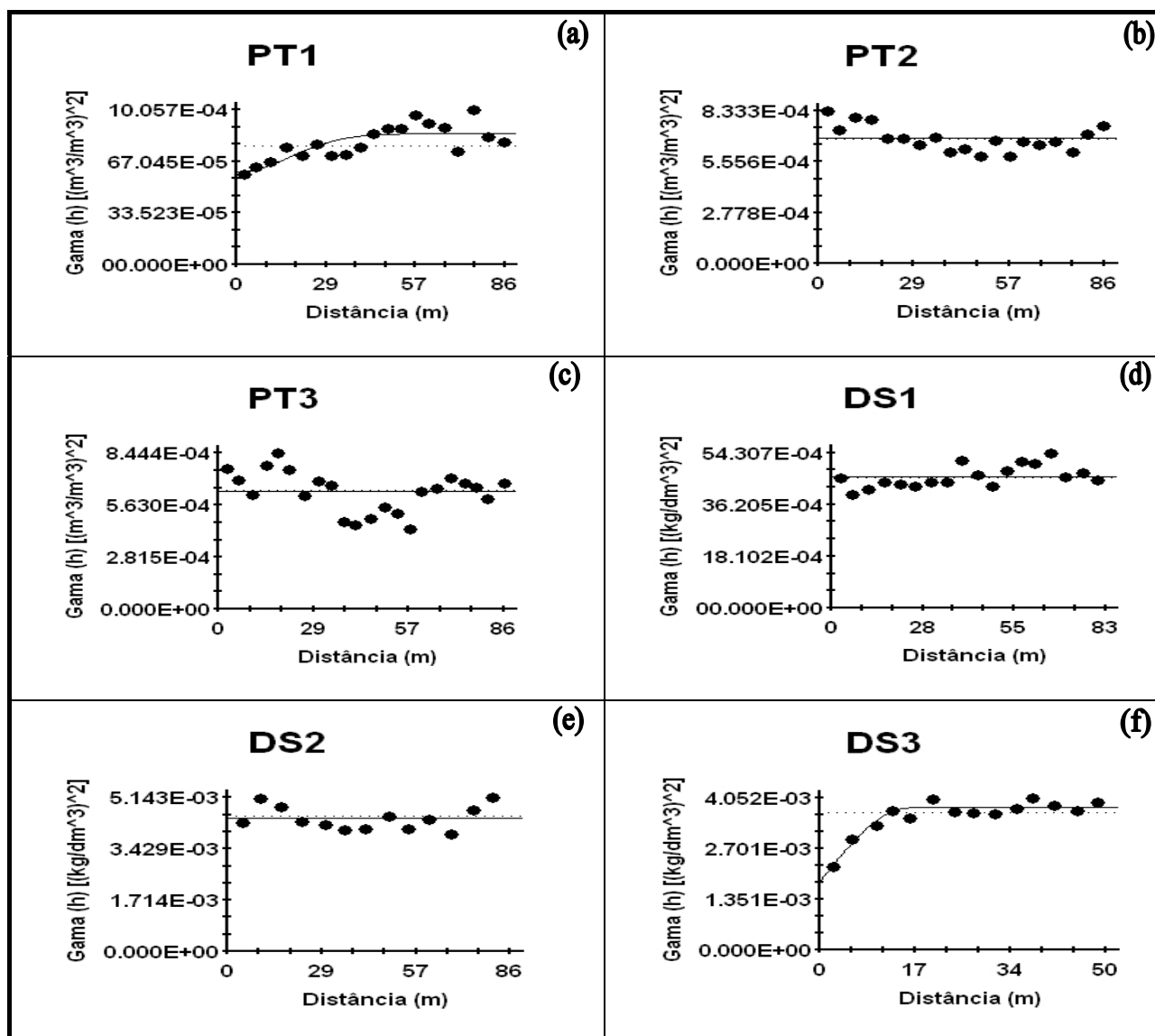


Figura 6: Semivariogramas simples da porosidade total e da densidade do solo avaliadas em diferentes profundidades num Latossolo Vermelho Distroférico

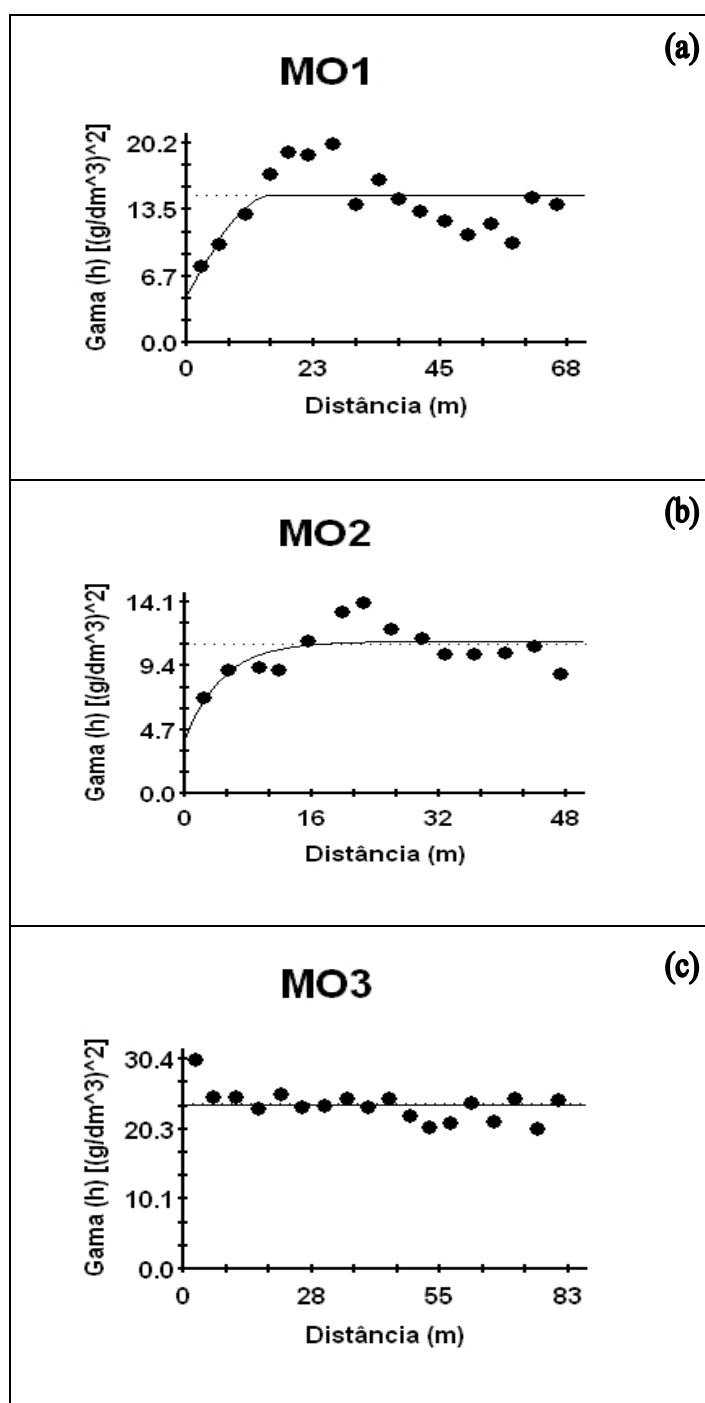


Figura 7: Semivariogramas simples dos teores de matéria orgânica em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho Distroférico

#### 4.3.1.2. Validação cruzada dos semivariogramas simples dos atributos estudados

No Quadro 7 estão apresentados os parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens dos componentes de produção da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS), assim como, nas Figuras 8, 9 e 10 são apresentadas as respectivas validações. A relação decrescente delas, analisada pela grandeza do coeficiente de correlação ( $r$ ), foi à seguinte: 1) MA3 (0,796), 2) MA2 (0,777), 3) MA1 e MI2 (0,713), 4) MI3 (0,567), 5) PG (0,543), 6) MI1 (0,541), 7) MO1 (0,495), 8) NG (0,458), 9) MO2 (0,360), 10) MM (0,232), 11) NV (0,212), 12) PT1 (0,152) e 13) DS3 (0,045). Assim, as cinco melhores validações cruzadas foram estabelecidas para os atributos MA e MI, cujos coeficientes de correlação variaram entre 0,796 a 0,567. Valores semelhantes e decrescentes foram corroborados por Rosa Filho (2008) pesquisando num mesmo solo do presente estudo (0,611 a 0,348). Por outro lado, os coeficientes angulares ( $b$ ) das validações cruzadas variaram entre 0,110 (DS3) a 1,009 (MI3). Para a grande maioria deles, a magnitude do coeficiente  $b$  ficou ao redor de um, preconizada como ideal conforme Robertson (1998).

Milani et al. (2006) e Amado et al. (2007), trabalhando num Latossolo Vermelho com a cultura da soja, encontraram para PG um coeficiente de correlação na validação cruzada de 0,88, valores superiores ao encontrado no presente estudo ( $r = 0,543$ ). Já Kitamura et al. (2007) trabalhando num Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto em Selvíria-MS com a cultura do feijão, observaram na validação cruzada para PG, um coeficiente de correlação de  $r = 0,36$ .

Quadro 7: Parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens de alguns atributos da produtividade da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférico. Selvíria, MS (2005/2006).

| Atributo <sup>(a)</sup>                                       | Coeficiente de correlação (r) | VO = a + b . VE <sup>(b)</sup> |       |
|---|-------------------------------|--------------------------------|-------|
|   |                               | a                              | b     |
| <i><math>\gamma(h)</math> simples dos atributos da planta</i> |                               |                                |       |
| PG (kg ha <sup>-1</sup> )                                     | 0,543                         | 4,60.10 <sup>2</sup>           | 0,860 |
| NV  | 0,212                         | 1,82.10                        | 0,502 |
| NG  | 0,458                         | 4,59                           | 0,935 |
| MM (g)  | 0,232                         | 3,14.10                        | 0,603 |
| <i><math>\gamma(h)</math> simples dos atributos do solo</i>   |                               |                                |       |
| MA1(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )                          | 0,713                         | 0                              | 1,001 |
| MA2(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )                          | 0,777                         | 2,00.10 <sup>-3</sup>          | 0,965 |
| MA3(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )                          | 0,796                         | 0                              | 0,960 |
| MI1(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )                          | 0,541                         | 5,00.10 <sup>-2</sup>          | 0,856 |
| MI2(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )                          | 0,713                         | 3,00.10 <sup>-2</sup>          | 0,932 |
| MI3(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )                          | 0,567                         | 0                              | 1,009 |
| PT1 (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )                         | 0,152                         | 2,05.10 <sup>-1</sup>          | 0,517 |
| DS3 (kg dm <sup>-3</sup> )                                    | 0,045                         | 1,28                           | 0,110 |
| MO1(g dm <sup>-3</sup> )                                      | 0,495                         | 3,29                           | 0,881 |
| MO2(g dm <sup>-3</sup> )                                      | 0,360                         | 3,00                           | 0,874 |

<sup>(a)</sup> PG = produtividade de grãos da soja, NV = número de vagens por planta, NG = número de grãos por planta, MM = massa de mil grãos; MA, MI, PT, DS e MO, de 1 a 3, são respectivamente a macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e o teor de matéria orgânica do solo coletados nas camadas estudadas; <sup>(b)</sup> VO = valor observado e VE = valor estimado



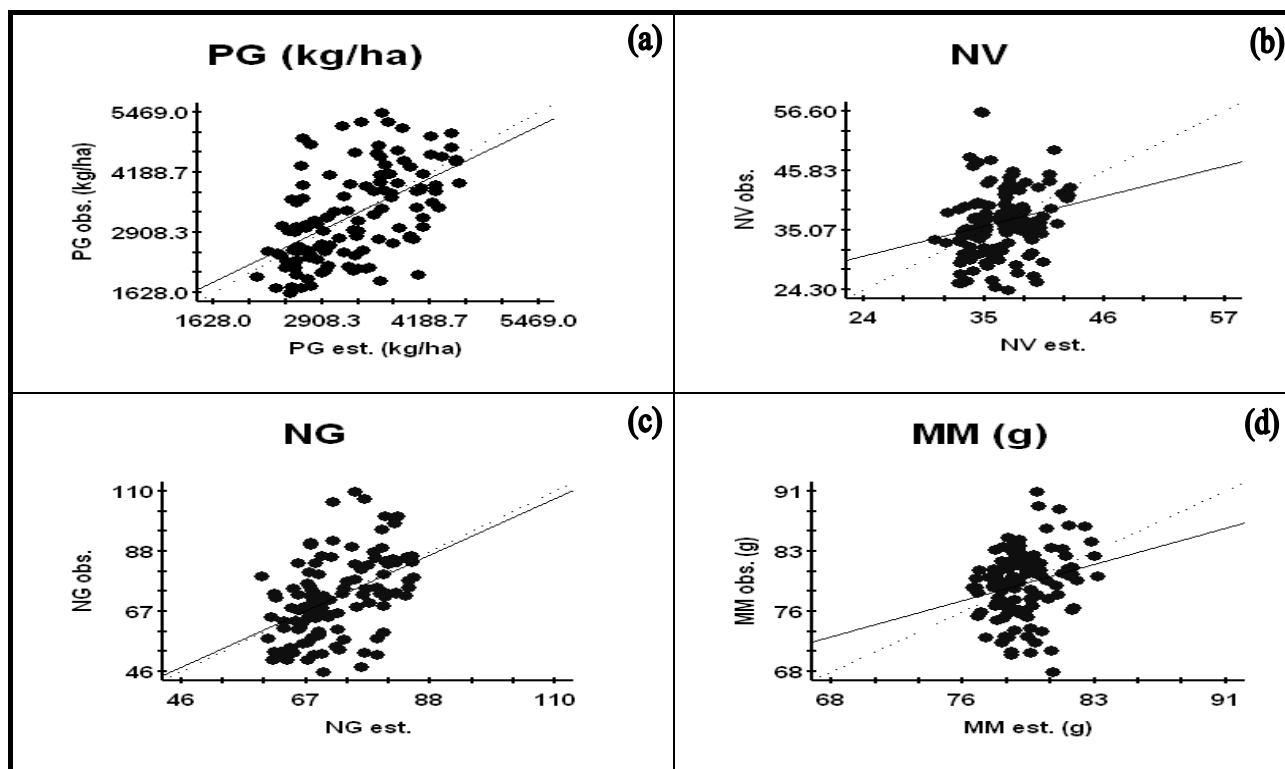


Figura 8: Validação cruzada dos atributos da produtividade da soja num Latossolo Vermelho Distroférico

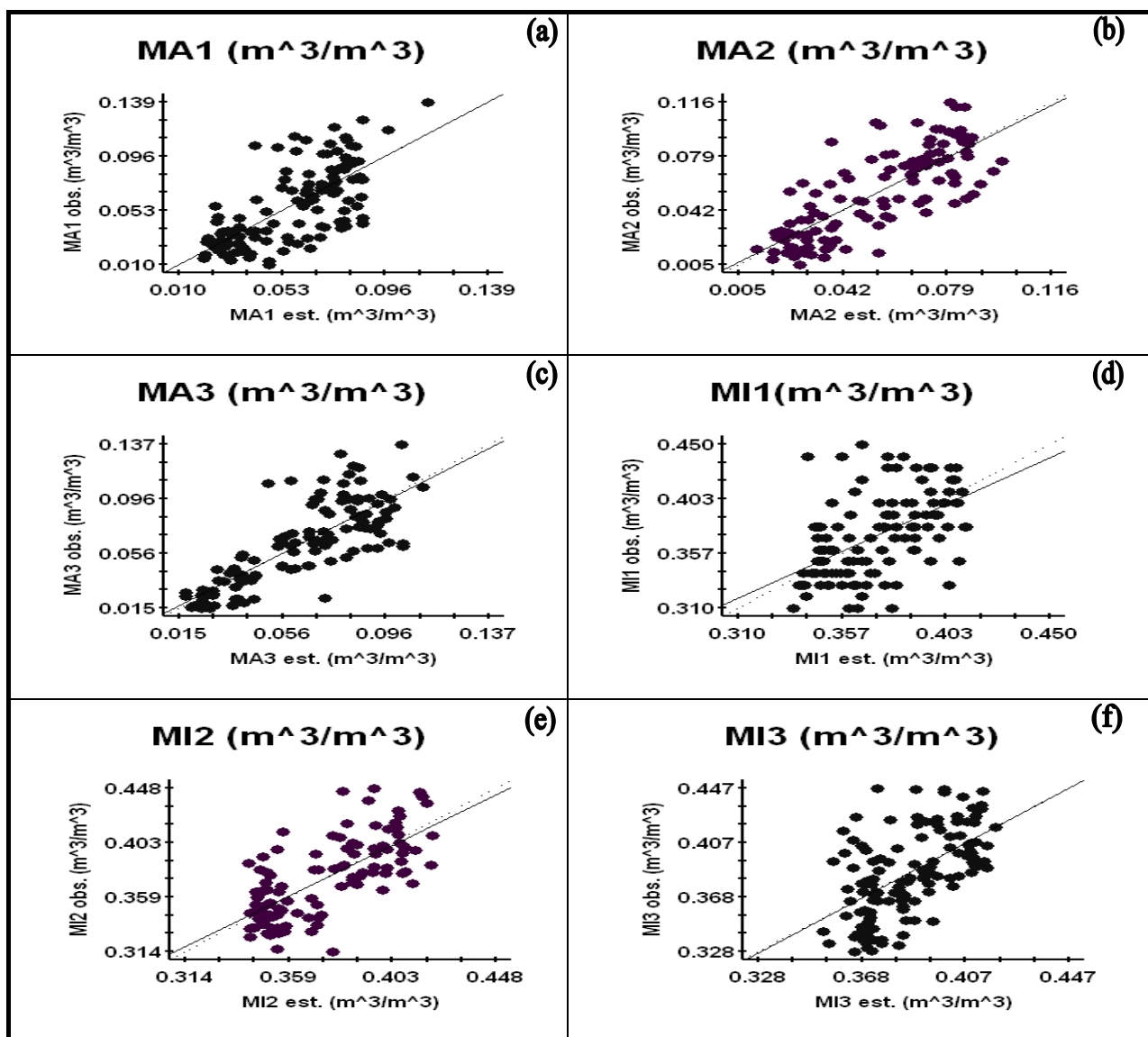


Figura 9: Validação cruzada da macroporosidade e da microporosidade avaliadas em profundidade num Latossolo Vermelho Distroférico

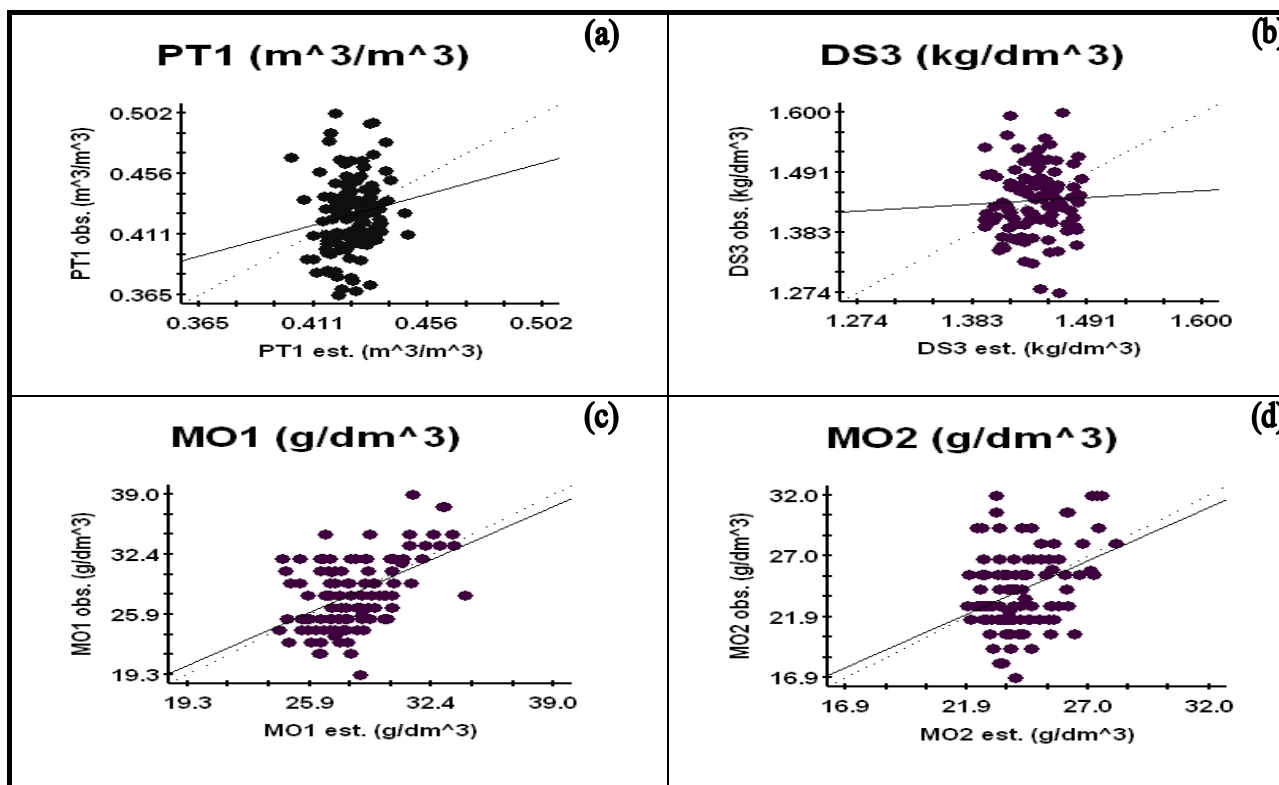


Figura 10: Validação cruzada da porosidade total, densidade global e do teor de matéria orgânica avaliados em profundidade num Latossolo Vermelho Distroférico

#### 4.3.1.3. Mapas de krigagem dos atributos estudados

Nas Figuras 11, 12, 13 e 14 estão apresentados os mapas de krigagem dos componentes de produção da soja e de alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS). Assim, na Figura 10a, o mapa de krigagem da produtividade de grãos de soja (PG) apresentou as maiores valores (3279 - 4279 kg ha<sup>-1</sup>) em forma de sítios, de coloração clara, predominando as regiões sudoeste, sudeste e norte do mapa. Por outro lado, nas demais regiões (nordeste) tal produtividade variou entre (1944-2945 kg ha<sup>-1</sup>). Em relação ao número de vagens por planta (NV) e número de grãos por planta (NG) foram notadas, semelhanças no comportamento espacial (Fig. 11b,c) onde os maiores valores ocorreram entre 39,7 - 43,7 e 78,2 - 86,6 respectivamente, de coloração clara, decrescendo seus valores à medida que se escurece o mapa. Já para massa de mil grãos (MM) os melhores valores foram nos halos sul-sudeste e parte da região norte do mapa de krigagem (Fig. 11d).

Em relação aos atributos do solo, foi observada, com respeito a MA (Fig. 12a,b,c) que a região predominante é estabelecida no sentido eixo y de zero-20 m, com maiores valores observados (0,070 - 0,108 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), acima de 20 até 40 m de distância encontram-se os menores valores de MA (0,020 - 0,058 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>). Uma inversa e elevada similaridade com o comportamento espacial da MA foi observado com a MI nas suas diferentes profundidades, cujos maiores valores foram entre: MI1 (0,408 - 0,370 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), MI2 (0,419 - 0,385 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) e MI3 (0,410 - 0,380 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>). Nos sítios onde a MI foi menor, entre 0,320 e 0,363 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (halos de coloração escura) a MA resultou em maiores valores observadas nas Figuras 12d e 13a,b.

Para porosidade total (PT) num Latossolo Vermelho Distroférico somente observou-se mapa de krigagem para PT1 na camada superior do solo, com os menores valores situados nos halos nordeste-sul do mapa (0,421 - 0,405 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>). Do ponto de vista espacial somente a DS3 avaliada na camada 0,20 - 0,30 m apresentou mapa de krigagem com predominância de valores maiores que 1,454 kg dm<sup>-3</sup>, distinguindo apenas no eixo sudeste-noroeste (Figura 13c,d).

Os mapas de krigagem para MO1 e MO2 comportaram-se de forma semelhantes espacialmente, cujos maiores valores foram verificados no sítio oeste do mapa com valores entre 32,9 - 34,6 e 27,3 - 28,6 g dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Os menores teores de MO predominaram na grande parte do mapa variando entre 22,6-31,2 g dm<sup>-3</sup> para MO1 e 19,6-26,0 g dm<sup>-3</sup> para MO2 (Figura 14 a,b).

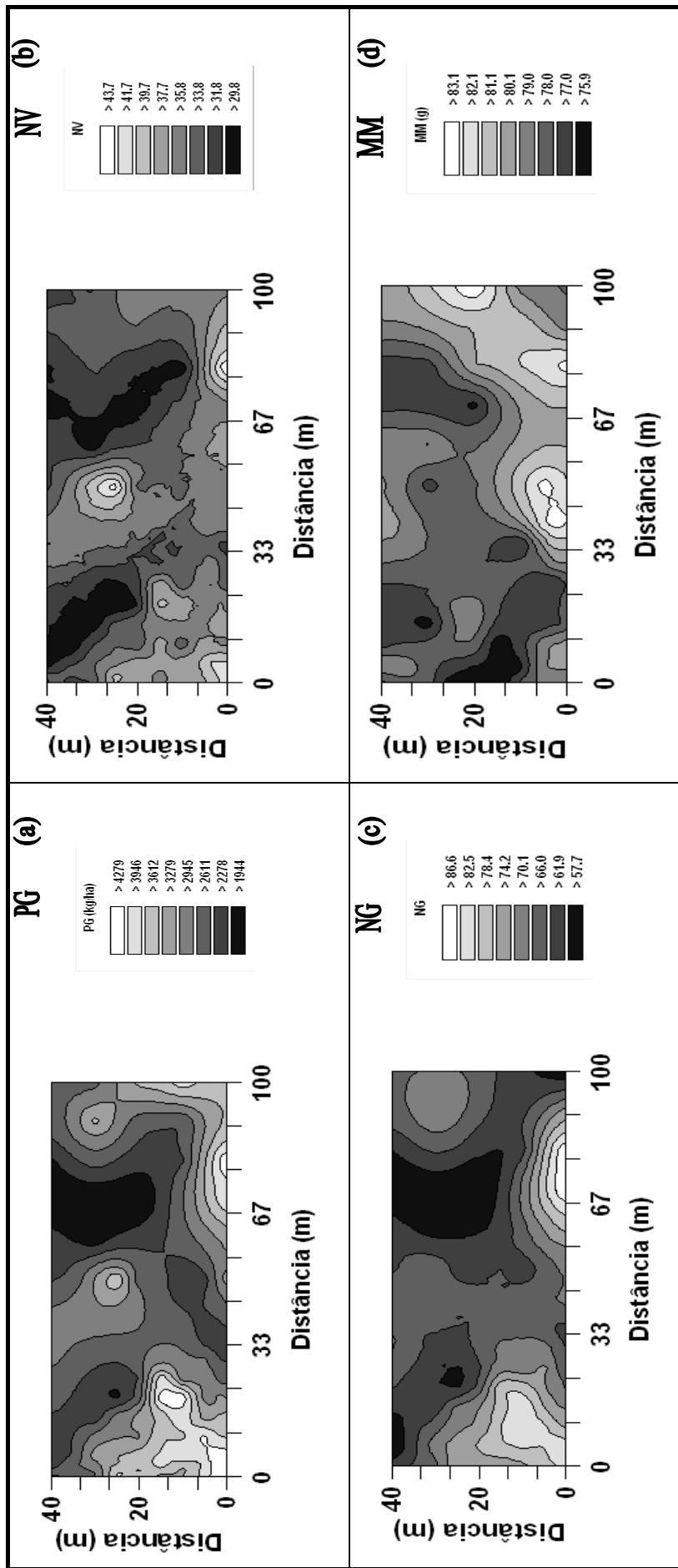


Figura 11 Mapas de krigagem dos atributos da produtividade da soja num Latossolo Vermelho Distroférico

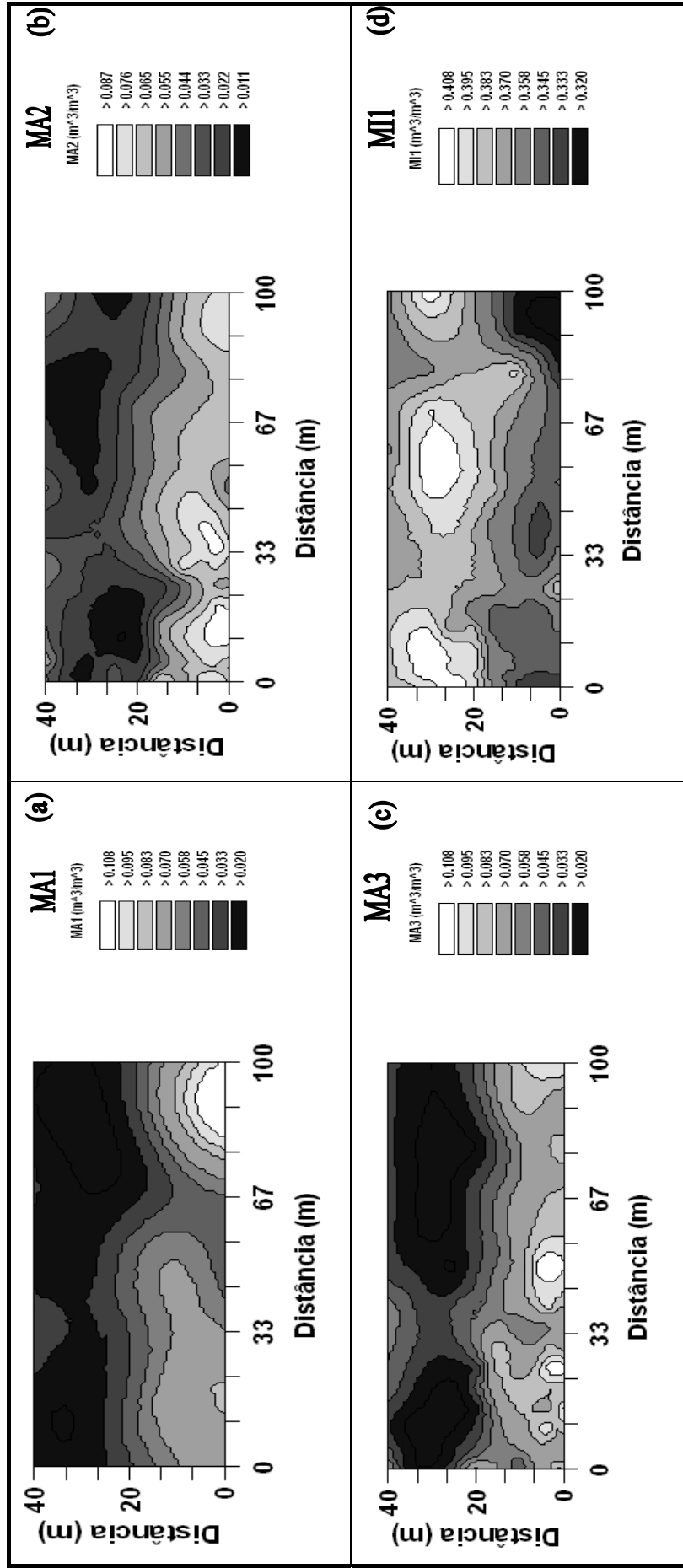


Figura 12 Mapas de krigagem da macroporosidade e da microporosidade de um Latossolo Vermelho Distroférico

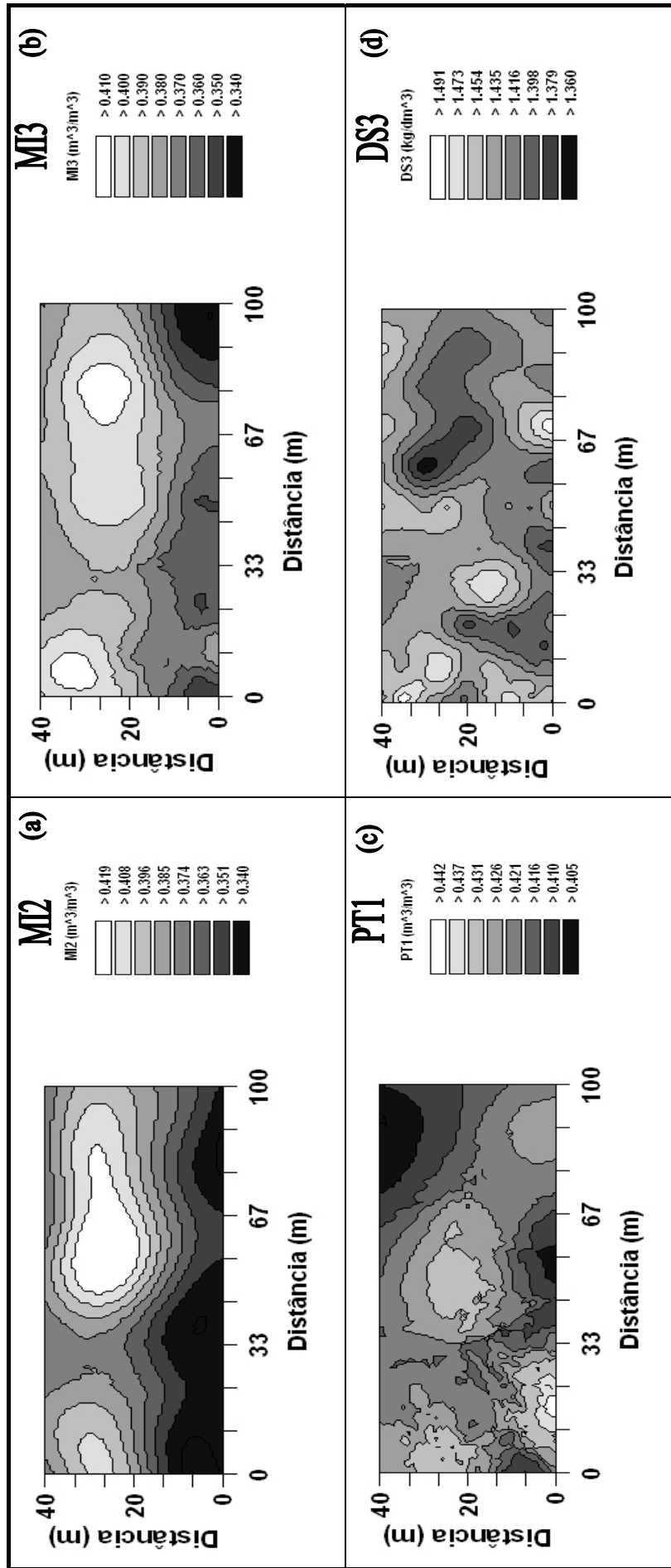


Figura 13 Mapas de krigagem da microporosidade, porosidade total e da densidade do solo de um Latossolo Vermelho Distroférico

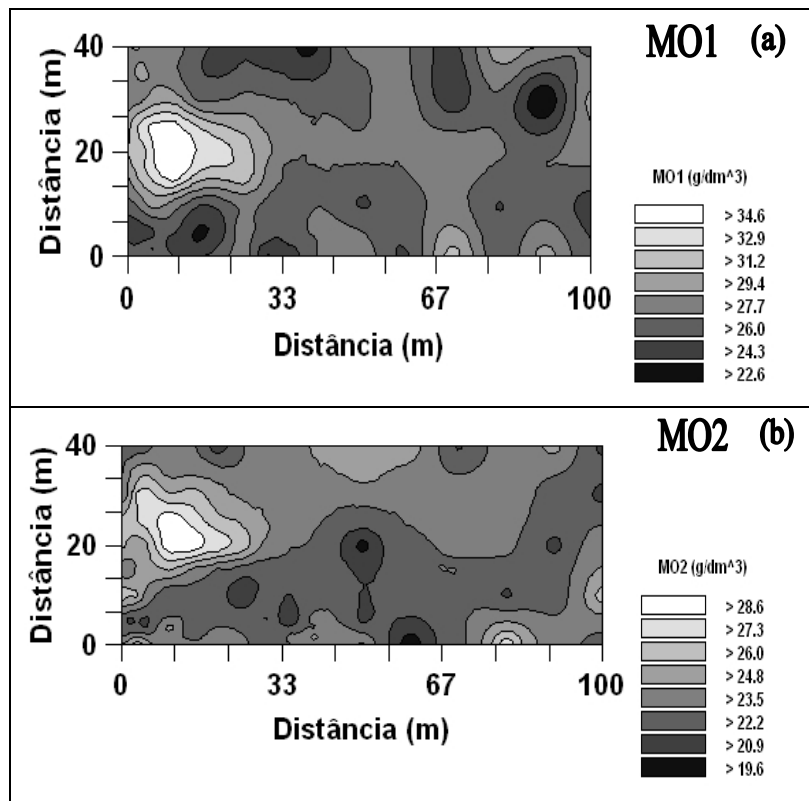


Figura 14 Mapas de krigagem dos teores de matéria orgânica de um Latossolo Vermelho Distroférico



### 4.3.2. Análise semivariográfica cruzada

#### 4.3.2.1. Ajuste dos semivariogramas cruzados e mapas de co-krigagem entre os atributos estudados

No Quadro 8 estão os parâmetros dos semivariogramas cruzados, ajustados entre alguns atributos da produtividade de grãos de soja e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS). Nas figuras 15 a 19 estão contidos os semivariogramas cruzados, validações cruzadas e mapas de co-krigagem entre atributos da planta *versus* planta, planta *versus* solo e do solo *versus* solo. Com respeito ao desempenho dos semivariogramas cruzados, a relação decrescente deles, analisada pela grandeza do coeficiente de determinação espacial ( $r^2$ ) foi à seguinte: 1)  $MA2=f(MI2)$ ,  $r^2= 0,899$ ; 2)  $PG=f(MA1)$ ,  $r^2= 0,719$ ; 3)  $PG=f(NG)$ ,  $r^2= 0,671$ ; 4)  $PG=f(MA3)$ ,  $r^2= 0,643$  e 5)  $PG=f(MI1)$ ,  $r^2= 0,557$ . Já com respeito à avaliação da dependência espacial, ela ficou entre 69,5%, moderada para  $PG=f(NG)$ , e alta para os demais atributos, 99,9% para  $PG=f(MA3)$ ; 96,8% para  $PG=f(MI1)$ ; 95,7% para  $MA2=f(MI2)$  e 91,58% para  $PG=f(MA1)$ .

No Quadro 8, o maior valor do coeficiente de determinação espacial, obtido para o atributo  $MA2=f(MI2)$ , evidenciando que 89,9% da variabilidade espacial dos dados da  $MA2$  puderam se explicados pela variabilidade espacial da  $MI2$ . Por outro lado, para o segundo [ $PG=f(MA1)$ ], 71,9% da variabilidade espacial dos dados da  $PG$  puderam ser explicados pela macroporosidade na camada mais superficial do solo. Tais co-krigagens foram de elevadas importância agrícola uma vez que, a partir da  $MA$  e  $MI$ , pode-se estimar, com elevado significado estatístico, a variabilidade espacial da  $PG$  e assim, localizar as zonas homogêneas de manejo para a cultura da soja em questão. Dessa forma, por exemplo, futuramente a variabilidade espacial da  $PG$  da soja, para o mesmo local do experimento, poderá ser estimada a partir da determinação da respectiva  $MA$ .

O alcance é importante para a interpretação dos semivariogramas, por indicar a distância até onde os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, os pontos localizados em uma área cujo raio seja o alcance, são mais semelhantes entre si, do que os separados por distâncias maiores. Para garantir a dependência espacial, os pontos de amostragem deveriam ser coletados a uma distância equivalente à metade do alcance (CARVALHO et al., 2002). Os valores para o alcance da dependência espacial nos semivariogramas cruzados encontrados no presente trabalho foram: 25,8 m para

PG=f(NG), 27,7 m para PG=f(MA1), 26,7 m para PG=f(MA3), 71,0 m para PG=f(MI1) e 28,2 para MA2=f(MI2) (Quadro 8).

A técnica de validação cruzada, segundo Isaaks e Sirivastava (1989), pode ser usada para testar o modelo ajustado ao semivariograma, isto é, testar o modelo para valores reais. A técnica consiste em retirar um valor real do banco de dados e estimá-lo usando o modelo variográfico. A validação é realizada comparando os valores estimados com os valores reais, usando a regressão linear como critério de comparação.

Nas Figuras 15 a 19 são apresentados, respectivamente, os semivariogramas cruzados, validação cruzada e mapa de co-krigagem de alguns componentes de produção da soja. De modo geral, os valores de correlação foram satisfatórios. Quanto à produtividade da cultura da soja, observou-se, nas Figuras (15, 16 e 17), que os modelos apresentaram bons ajustes aos dados de campo com coeficiente de correlação de 0,55 a 0,72, respectivamente, (Fig. 15 a 18b).

Do ponto de vista edafológico, o maior interesse do Quadro 8 residiu nas co-krigagens efetuadas entre a PG e os atributos do solo (Fig. 15 a 19c). A melhor delas (Fig. 19c), estabelecida para o atributo MA2=f(MI2) evidenciou que 89,9% da variabilidade espacial da MA2 pôde ser explicada em função da MI2, cuja correlação da mesma foi inversa, isto é, quanto maior a MA2 menor foi a MI2 no solo. Também neste caso, vale ressaltar que a partir dos dados da MA1 e 3, pode-se estimar a produtividade de grãos da soja (PG) e localizar as zonas de manejo do solo para a cultura que foi estabelecida na área experimental estudada.

Assim, pôde-se constatar que onde ocorreram os menores valores de MI2 foram mapeados os maiores valores de MA2 e maiores valores para PG, justificando-se a utilização dos mapas de produtividade como ferramenta para decisões referentes a manejo localizado do solo. Sendo assim, podem ser recomendadas práticas conservacionistas como o plantio direto e rotação de culturas às zonas de manejo, nas quais a MA1 resultou seus maiores valores, visando-se elevar a respectiva produtividade de grãos de soja local. Portanto do ponto de vista espacial, a macroporosidade do solo avaliada na camada zero-0,10 m (MA1), apresentou-se como um bom indicador da qualidade física do solo estudado, quando destinado à produtividade de grãos de soja nas condições da fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – Setor de produção vegetal, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FE/UNESP), localizada no município de Selvíria (MS).

Quadro 8: Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados para alguns atributos da produtividade da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférico. Selvíria, MS (2005/2006).

| Parâmetros  |                       |                                       |                                |                                     |                |                        |   |        |
|---|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------|------------------------|---|--------|
| Atributo <sup>(a)</sup>   | Modelo <sup>(b)</sup> | Efeito<br>Pepita<br>(C <sub>0</sub> ) | Patamar<br>(C <sub>0</sub> +C) | Alcance<br>(A <sub>0</sub> )<br>(m) | r <sup>2</sup> | SQR <sup>(c)</sup>     | Avaliador da<br>dependência<br>espacial |        |
|   |                       |                                       |                                |                                     |                |                        | ADE <sup>(d)</sup>                      | Classe |
| <i><b>γ(h) cruzados entre atributos da planta</b></i>           |                       |                                       |                                |                                     |                |                        |   |        |
| PG =f(NG)   | esf (270)             | 4,450.10 <sup>3</sup>                 | 1,461.10 <sup>4</sup>          | 25,8                                | 0,671          | 3,520.10 <sup>7</sup>  | 0,695                                   | média  |
| <i><b>γ(h) cruzados entre atributos da planta e do solo</b></i> |                       |                                       |                                |                                     |                |                        |   |        |
| PG =f(MA1)  | gau (90)              | 7,100.10 <sup>-1</sup>                | 8,310 <sup>3</sup>             | 27,7                                | 0,719          | 38,6                   | 0,915                                   | alta   |
| PG =f(MA3)  | esf (266)             | 1,000.10 <sup>-2</sup>                | 7,526                          | 26,7                                | 0,643          | 21,6                   | 0,999                                   | alta   |
| PG =f(MI1)  | esf (518)             | -3,900.10 <sup>-1</sup>               | -1,225.10                      | 71,0                                | 0,557          | 105,0                  | 0,968                                   | alta   |
| <i><b>γ(h) cruzados entre atributos do solo</b></i>             |                       |                                       |                                |                                     |                |                        |   |        |
| MA2= f(MI2)   | gau (241)             | -3,400.10 <sup>-5</sup>               | -7,930.10 <sup>-4</sup>        | 28,2                                | 0,899          | 8,052.10 <sup>-8</sup> | 0,957                                   | alta   |

<sup>(a)</sup>PG = produtividade de grãos da soja, NG = número de grãos por planta; MA, MI, de 1 a 3, são respectivamente a macroporosidade e microporosidade do solo coletados nas camadas estudadas; <sup>(b)</sup> esf = esférico, exp = exponencial, gau = gaussiano, e epp = efeito pepita puro; parênteses após o modelo semivariográfico significa o número de pares no primeiro lag; <sup>(c)</sup> SQR = soma dos quadrados dos resíduos; <sup>(d)</sup> ADE = avaliador da dependência espacial

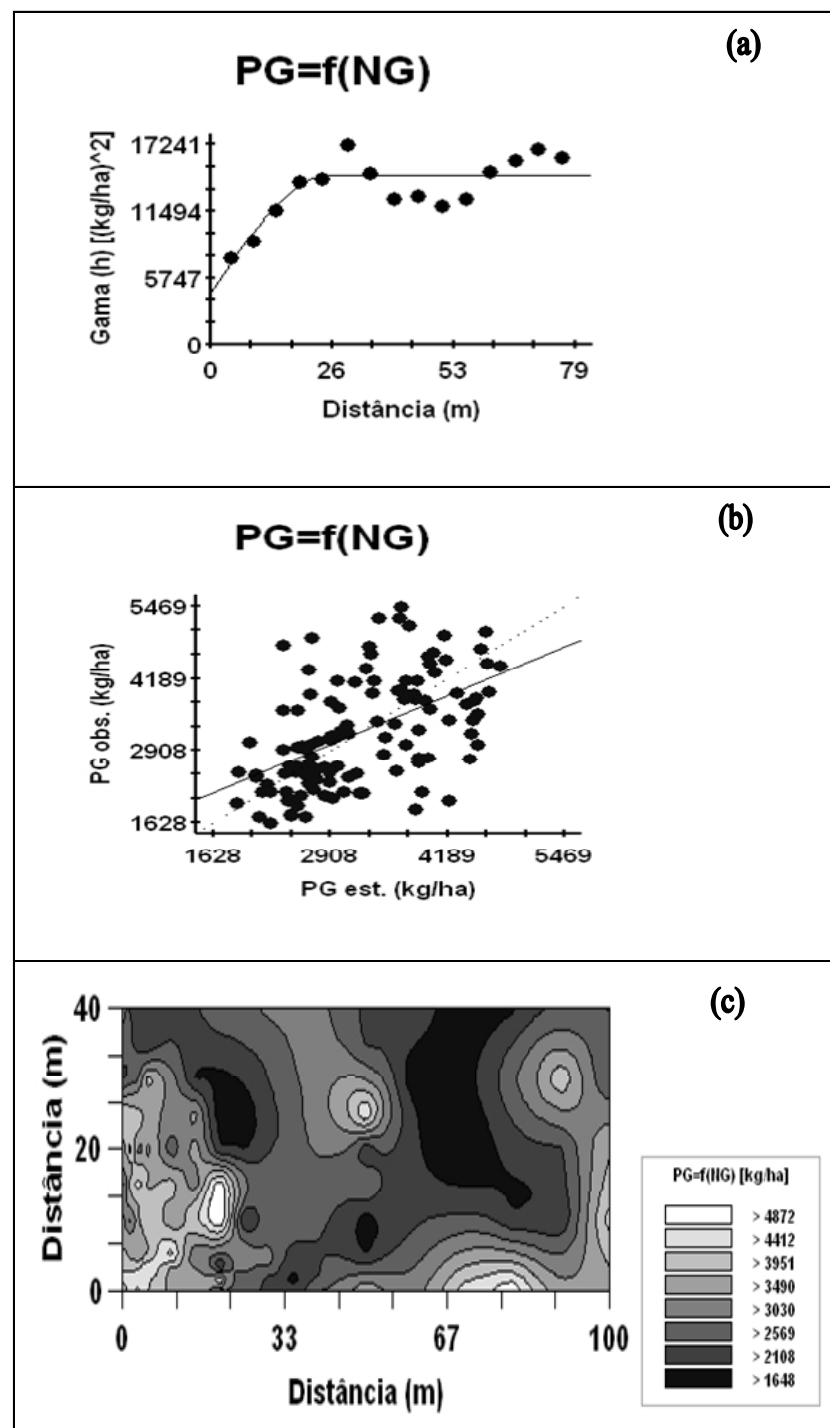


Figura 15: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de co-krigagem da produtividade da soja (PG) em função do número de grãos por planta (NG) num Latossolo Vermelho Distroférico

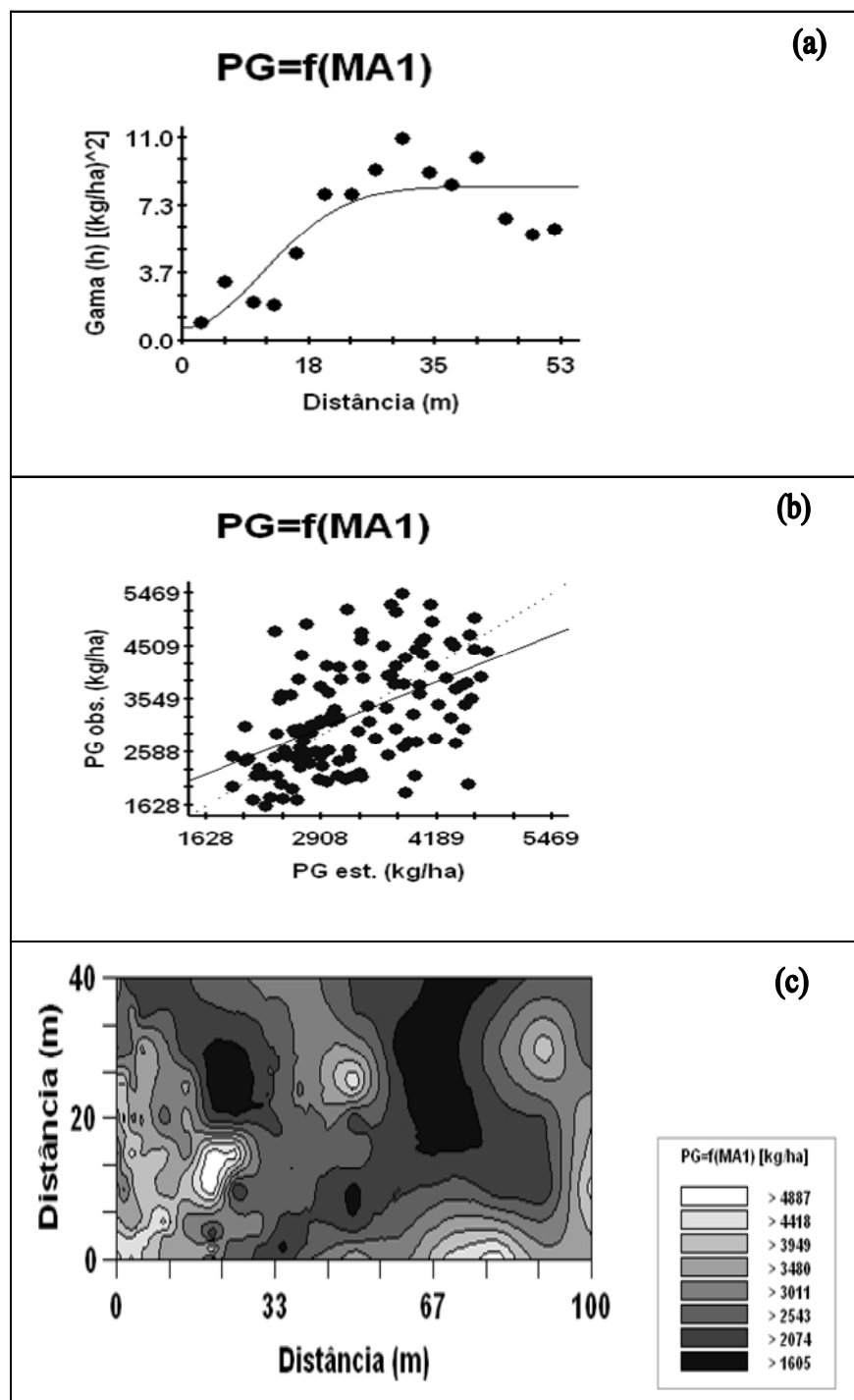


Figura 16: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de co-krigagem da produtividade da soja (PG) em função da macroporosidade (MA1) num Latossolo Vermelho Distroférrico

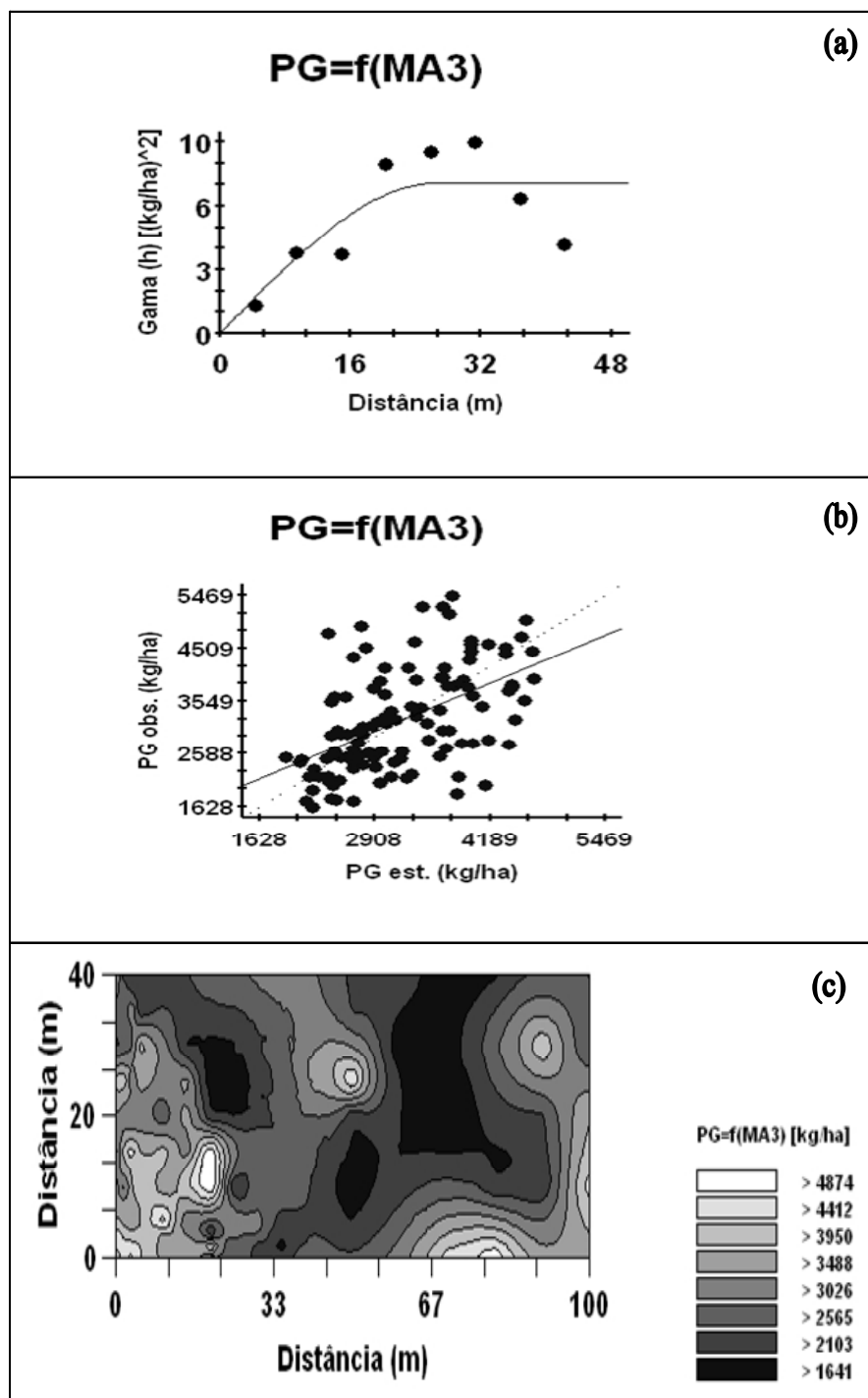


Figura 17: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de co-krigagem da produtividade da soja (PG) em função da macroporosidade (MA3) num Latossolo Vermelho Distroférico

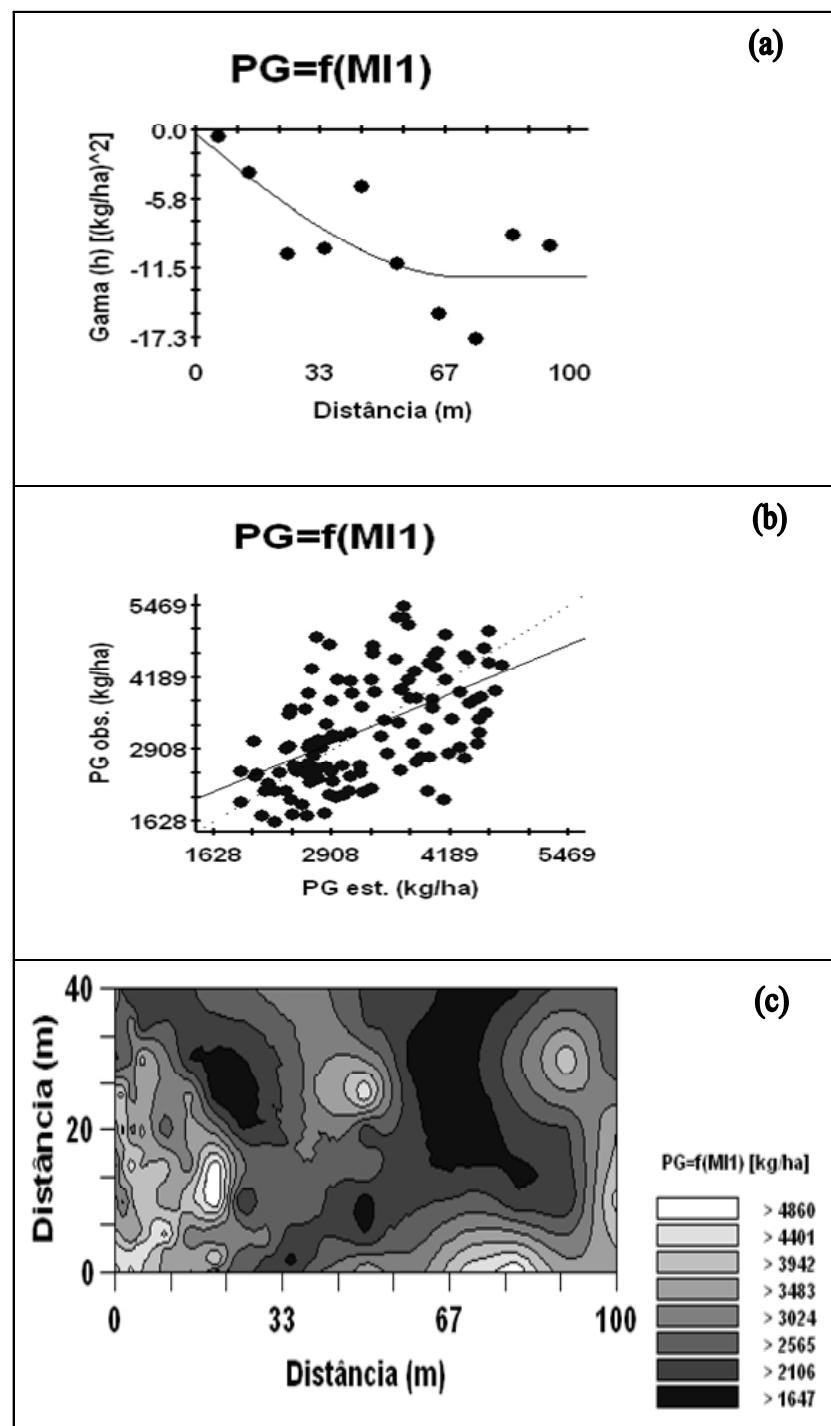


Figura 18: Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de co-krigagem da produtividade da soja (PG) em função da microporosidade (MI1) num Latossolo Vermelho Distroférico

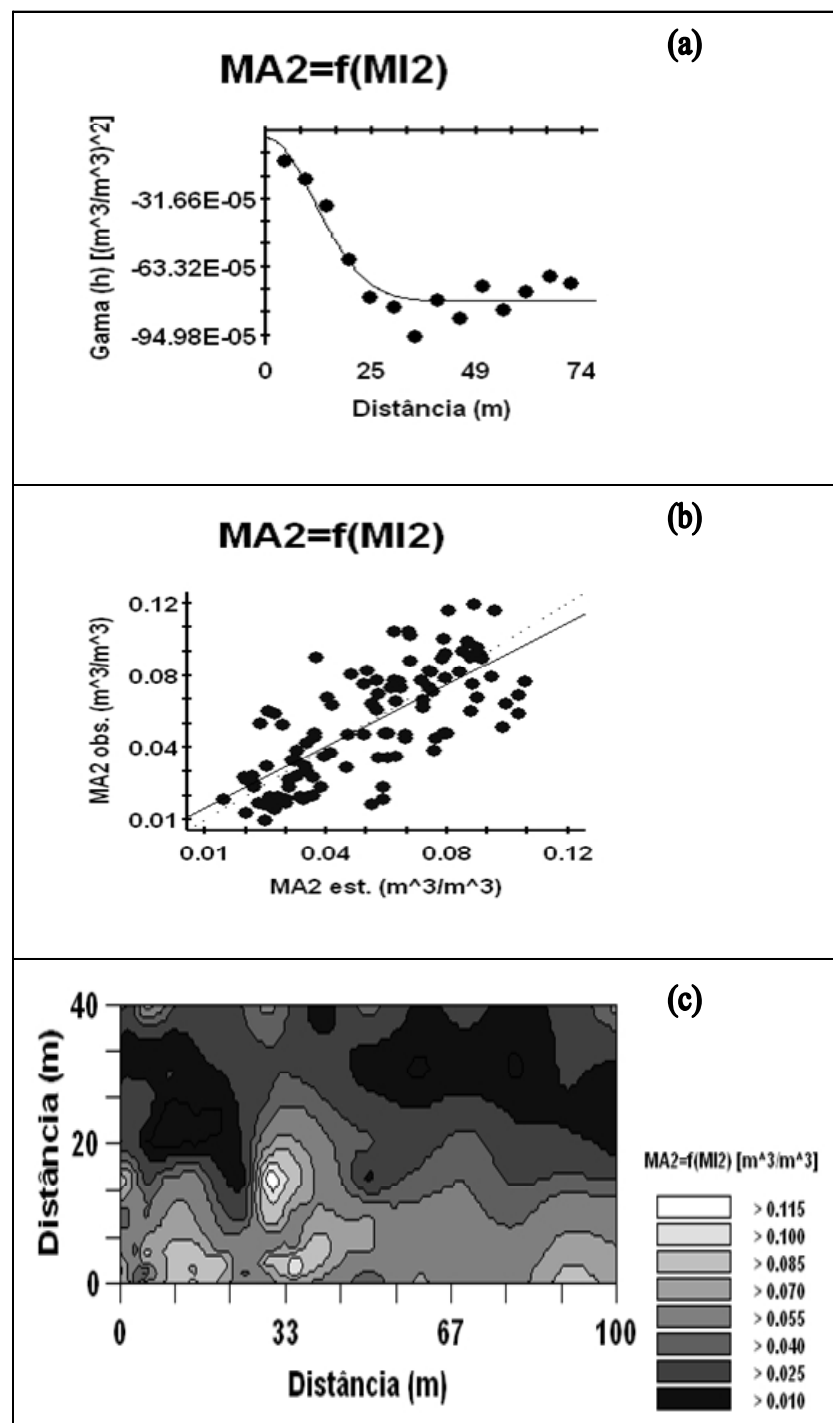


Figura 19 Semivariograma cruzado, validação cruzada e mapa de co-krigagem da macroporosidade (MA2) em função da microporosidade (MI2) num Latossolo Vermelho Distroférico



## 5. CONCLUSÕES

Conclui-se que:

1) A macroporosidade do solo, quando avaliada na superfície (MA1), apresentou significativa correlação linear e direta com a produtividade de grãos de soja (PG). Contrapartida, a microporosidade do solo (MI1) mostrou correlação linear inversa na camada superficial do solo.

2) A produtividade de grãos de soja apresentou correlação espacial direta com o número de grãos por planta. Onde, nos sítios com os maiores valores da NG observaram-se os melhores valores da PG.

3) Do ponto de vista espacial, constatou-se elevada correlação espacial e direta entre a produtividade de soja e a macroporosidade do solo (MA1). Assim, nos halos com os menores valores da MA1 verificaram-se os menores valores da PG, sendo o inverso verdadeiro.

4) Evidenciou-se que a macroporosidade, quando avaliada na camada de 0,0 - 0,10 m, apresentou-se como bom indicador da qualidade física do solo pesquisado, quando o objetivo for de se estimar a produtividade de grãos de soja local.

## 6. REFERÊNCIAS

ABREU, S.L. et al. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo e da produtividade e qualidade de grãos de trigo agroecológico em argissolo franco arenoso sob plantio direto. **Cienc Rural**, Santa Maria, v.33, n.2, p.275-282, 2003.

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. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 19, n 1, p.115-119, 1995.

ALBUQUERQUE, J.A. et al. Variabilidade de solo e planta em Podzólico Vermelho-Amarelo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.20, n.1, p.151- 157, 1996.

ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.M; OLSZEWSKI, N. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.25, n 3., p.717-723, 2001.

AMADO, T.J.C.; NICOLOSO, R.; LANZANOVA, M.; SANTI, A.L.; LOVATO, T. A Compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 8, n.89, p.34-42, 2005.

AMADO, T.J.C.; PONTELLI, C.B.; SANTI, A.L.; VIANA, J.H.M.; SULZBACH, L.A.S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.42, n.8, p.1101-1110, 2007

ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra Roxa estruturada. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.24, n 4, p.857-865, 2000.

ASSIS, R. L. **Compressibilidade de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa**. 2002, 141f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

BAEUMER, K.; BAKERMANS, W.A.P. Zero-tillage. **Adv. Agron.**, New York, v.25, n. 33, p.77-121, 1973.

BERTOL, I.; CIPRANDI, O.; KURTZ, C.; BAPTISTA, A.S. Persistência dos resíduos culturais de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 705-712, 1998.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para as culturas de soja e trigo em três sistemas de preparo em um cambissolo húmico alumínico. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.451-461, 2001.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; SILVA, A. P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 787-794, 2006.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; LEONEL, C. L.; CÁSSIA, A. G. S. J.; FREDDI, O. S. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1232-794, 2007.

BHATTI, A.U.; MULLA, D.J.; KOEHLER, F.E.; GURMANI, A.H. Identifying and removing espacial correlation from yield experiments. **Journal Soil Science Society of America**, Madison, v.55, n.6, p.1523-1528, 1991.

BLACKMORE, B.S.; GODWIN, R.J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. **Biosystems Engineering**, London, v.84, n. 4, p.455-466, 2003.

BRESSLER, E.; DASBERG, S.; RUSSO, D.; DAGAN, G. Spatial variability of crop yield as a stochastic soil process. **Journal Soil Science Society of America**, Madison, v.45, n.3, p.600-605, 1981.

CALEGARI, A. et al. Adubação verde. In: Ademir Calegari. **Manual técnico do sub-programa de manejo e conservação do solo**. Curitiba: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1993. p.178-85.

CAMPOS, M.C.C. et al. Relações solo-paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.31, n.3, p.519-529, 2007.

CARVALHO, T. M. **Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo através da Geoestatística**. 1991. 84f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Universidade, Lavras, 1991.

CARVALHO, O. S.; GASCO, J. M.; LOPEZ, F. G.; REQUEJO, A. S. variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas de um solo submetido a diferentes sucessões de cultivo. **R Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.22, n. 2, p.497-503, 1998.

CARVALHO, M. P.; SORATTO, R. P.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob preparo convencional em Selvíria, estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Sci.**, Maringá, v.24, n.5, p.1353-1361, 2002.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em vitória Brasil (SP). **R Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.27, n. 4, p.695-703, 2003.

CARVALHO, G. J.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; MARTINS, M. V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. **R. Bras. Eng. Agr. Amb.**, Campina Grande, v.10, n. 3, p.765-771, 2006.

CASSEL, D.K.; UPCHURCH, D.R.; ANDERSON, S.H. Using regionalized variables to estimate field variability of corn yield for four tillage regimes. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.52., n.1, p.222-228, 1988.

CENTURION, J.F.; DEMATTÊ, J.L.I. Efeito de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.9, n.2, p.263-266, 1985.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. **Avaliação da safra agrícola 2006/2007 – 12<sup>a</sup> Levantamento**. Piauí: Superintendências Regionais / Piauí / Conjunturas Agropecuárias, 2007. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb>>. Acesso em: 11 set. 2007.

CORÁ, J.E.; BERVALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Eng Agríc**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.374-387, 2006.

COUTO, E.G. et al. Large area variability of soil chemical properties in central Brazil. **Agric Ecosys Environ**, Kampala, v.66, n.1, p.139- 152, 1997.

COUTO, E.G. et al. Estimativa do teor de argila e do potássio trocável em solos esparsamente amostrados no Sul do Estado de Mato Grosso. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.129-140, 2000.

CORSI, M. Pastagens. **DBO rural**, São Paulo, v.16, n.207, p.82-4, 1998.

DAMPNEY, P.M.R.; MOORE, M. Precision agriculture in England: current practice and research-based advice to farmers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 1999. p. 661-673.

DA SILVA, A.P. et al. Variabilidade espacial da resistência a penetração de um latossolo vermelho-escuro ao longo de uma transeção. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.13, n.1, p.1-5, 1989.

DA SILVA, A.P. et al. Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geoestatística e análise de regressão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.4, jul, 2008.

DARIVA, T.A. **Variabilidade espacial de solo e da cultura da soja em várzea sistematizada**. 2001. 120f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de AGRONOMIA, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

DA ROS C. O.; SECCO D.; FIORIN J. E.; PETRERE C.; CADORE M. A.; PASA L. Manejo do solo a partir de campo nativo : Efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista brasileira de ciência do solo**, Campinas, v.21, n. 2, p. 241-247, 1997.

DEMATTE, J. L.I. **Levantamento detalhado dos solos Campus experimental de Ilha Solteira**. Piracicaba: Departamento de Solos, Geologia e Fertilidade ESALQ/USP, 1980. 44p.

DERPSCH, R. et al. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo convencional. Eschborn: Deutsche Gesellschaft fiir,1991. 268p.

DOUGLAS, J.T.; GOSS, M.J.; HILL, D. Measurements of pores characteristics in a clay soil under ploughing and direct drilling, including use of a radioactive tracer (144ce) techniqu. **Soil Tillage Res.**, Amsterdam, v.1, n.1, p.11-8, 1980.

ELMORE, R.W. Soybean cultivar response to tillage systems and planting date. **Agron. J.**, Madison, v.82, n.1, p.69-73, 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. 247p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Integração agricultura-pecuária e produção agrícola sustentável no cerrado**. Campo Grande: EMBRAPA-CNPQC, 1997. 3p. (Agricultura Sustentável).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA– EMBRAPA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil - 1997/98.** Londrina: EMBRAPA/CNPSo, 1997a . 171p (Documentos, 106)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** 2.ed. Brasília, 1997b. 212p. (EMBRAPA CNPS. Documentos, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja - Paraná 2003.** Londrina: Sistema de produção/Embrapa Soja, 2003. p.195.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil - 2007.** Londrina: Sistema de produção/Embrapa Soja, 2006. 225p.

FAHL, J. I.; CAMARGO, M. B. P.; PIZZINATTO, M. A.; BETTI, J. A.; MELO, A; M; T.; DEMARIA, I. C.; FURLANI, A. M. C. **Instruções agrícolas para as principais culturas agronômicas.** 6.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1998. 396p. (Boletim, 200).

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 de soja. **R. Bras. Ci, Solo,** Viçosa, v. 32, p. 463-476, 2008.

FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; CARVALHO, G. J.; VERONESE JUNIOR, V. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Eng. Agríc.** Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 113-121, 2006.

GOUVÊA FILHO, A. J. **Comportamento de duas variedades de soja submetidas a doses de potássio e épocas de semeadura**. 2003. 24f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2003.

GONTIJO, I.; BORGES, E. N.; PASSOS, R. R.; CASAROTTI, D. C.; JORGE, R. F.; GUIMARÃES, E. C.; GUIMARÃES, P. T.; BORGES, E. V. S. Uso da geoestatística no estudo de atributos físicos em solo de Cerrado de Minas com café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto: **Anais...**Ribeirão Preto: Sociedade brasileira de Ciência do solo, 2003. CD-ROM.

**GS+**: geostatistics for environmental sciences. 7.ed. Michigan: Gamma Desing Software, 2004. 159p.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de características físicas do solo avaliadas em uma parcela experimental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto: **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade brasileira de Ciência do solo, 2003. (CD-ROM).

GUADAGNIM, C.A. **Infiltração de água ao de uma transeção em solos construídos na área de mineração de carvão de candiota - RS**. 2002. 62f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2002.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561 p.

JAYNES, D.B.; COLVIN, T.S. Spatiotemporal variability of corn and soybean yield. **Agron. J.**, Madison, v.89, n.1, p.30-37, 1997.

JOHANN, J. A.; OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G.; ROCHA, J. V. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo bruno distrófico da região de Cascavel, PR. **R Bras Eng. Agríc. Amb.**, Campina Grande, v.8, n. 2/3, p.212-219, 2004.



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

KICHEL, A. N. Recuperar áreas degradadas aliando lavoura e pecuária vai propiciar aumento de produtividade e renda para o produtor. **Informativo da Embrapa Gado de Corte**, Campo Grande, v.19, n.2, p.12, 2005.

KITAMURA, A. E.; CARVALHO, M. P.; LIMA, C. G. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. **R Bras Ci Solo**, Viçosa, v.31, n. 2, p.361-279, 2007.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo, afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.19, n.3, p.395-401, 1995.

KNIGHTON, R.E.; JAMES, D.W. Soil test phosphorus as a regionalized variable in leveled land. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.49, n.3 p.675-679, 1985.

LEAL, A.J.F. **Efeitos na cultura da soja de modos e épocas de aplicação de calcário e culturas de cobertura do solo na implantação do sistema de plantio direto**. 2005, 65f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Engenharia Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

LEITZKE, V.W. **Armazenagem e disponibilidade de água de solos construídos na área de mineração de carvão de Candiota - RS**. 2002. 131f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2002.

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). **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.31, n. 6, p.1233-1244, 2007.

MACEDO, J. R.; OTONNI FILHO, T. B.; MENEGUELLI, N. A. Variabilidade de características físicas, químicas e físico-hídricas em solo Podzólico Vermelho-Amarelo de Seropédica. RJ. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 33, n. 12, p. 2043-2053, 1998.

MACHADO, L. A. Z.; WEISMANN, M. Estabelecimento de forrageiras perenes em consórcio com a cultura da soja. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA, n.1, 2007, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2007. 1 CD-ROM.

MARINS, A. C. **Métodos de estimação da função semivariância aplicados a dados simulados e reais de produtividade da soja e de atributos físicos de um Latossolo.** 2006. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

MARUN, F., MELLA, S. C. **Recuperação de pastagens no noroeste do Paraná através da sucessão de culturas por um ano.** Londrina: IAPAR, 1994. 15p. (IAPAR - Informe de pesquisa, 111).

MANTOVANI, E.C. **Agricultura de precisão na Embrapa.** Brasília: [s.n.], 2006. 8p. Disponível em:<[http://www.ripa.com.br/fileadmin/user\\_upload/\\_temp\\_/Projeto\\_Agricultura\\_de\\_Precisao-](http://www.ripa.com.br/fileadmin/user_upload/_temp_/Projeto_Agricultura_de_Precisao-)>. Acesso em: 09 jul. 2007.

MELSTED, S.W., PECK, T.R. The principles of soil testing. In: WALSH, L.M. BEATON, J.D. (Ed.) **Soil testing and plant analysis.** Madison: Soil Society of America, 1973. cap. 2, p. 13-21.

MESQUITA, M. G. B.; MORAES, S. O.; CORRENTE, J. E. Caracterização estatística de variáveis físicas do solo. **Acta Sci.**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 35-44, 2003.

MILANI, L.; SOUZA, E.G. de; URIBE-OPAZO, M.A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J.A.; PEREIRA, J.O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.28, n.3, p.591-598, 2006.

MOLIN, J.P. Agricultura de precisão, parte I: o que é e estado da arem sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, n.1, p.97-107, 1997.

NARIMATSU, K. C. P. **Plantio direto de soja sobre *Brachiaria brizantha* no sistema integração agricultura-pecuária**. 2004. 73f. Dissertação: (Mestrado em Agronomia – Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

O'HALLORAN, I.P.; KACHANOSKI, R.G.; STEWART, J.W.B. Spatial variability of soil phosphorus as influenced by soil texture and management. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.65, n.3, p. 475-487, 1985.

OLIVEIRA JUNIOR, P. R. **Produtividade de cultivares de soja em consórcio com braquiária, subdoses de herbicida e uso de potássio em cobertura**. 2006. 43f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrária, Universidade de Marília-Unimar, Marília, 2006.

PAZ-GONZÁLEZ, A. et al. The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon. **Geoderma**, Amsterdam, v.97, n.2, p.272-292, 2000.

PIMENTEL GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

PRASAD, J. Acomparasion beteween a rotavator and conventional tillage equipament for wheat-soybean rotations on a vertisol Central Índia. **Soil Tilage Res.**, [S.l.], v.37, n.213, p.191-199, 1996.

QUEIROZ, R. P. **Adubação fosfatada corretiva e gesso no plantio direto de soja e sorgo sobre pastagem degradada na região do cerrado**. 2005. 70f. Dissertação: (Mestrado em Agronomia – Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade.** Campinas:Fundação Cargill, 1987. 170p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

REICHERT, J. M. et al. Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geoestatística e análise de regressão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.4, p. 981-988, 2008.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade especial de parâmetros do solo.** 1995. 99f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

ROBERTSON, G. P. GS+: **Geostatistics for the enviromental sciences.** Plainwell: Gamma Design Software,1998. 152p.

ROSA FILHO, G. **Soja em plantio direto e cultivo mínimo sob diferentes doses de calcário na superfície.** 2005. 45f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Engenharia: Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2005.

ROSA FILHO, G. **Produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob plantio direto.** 2008. 80f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2008.

SALVADOR, N.; BENZ, S.H.; BICUDO, S.J. Preparo periódico do solo: desempenho operacional e mobilização do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, 1993. p.1710-1721.

SALVIANO, A.A.C. et al. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. **R Bras Ci Solo**, Viçosa, v.22, n.1, p.115-122, 1998.

SAMRA, J. S.; GILL, H. S.; BHATIA, V. K.; ABROL, I. P. Analysis of variability in the uniformity trial afforestation of *Melia azedarach* Linn. planted in sodio soil. **Soil Technolgy**, Cremlingen-Desdedt, v.1, n.3, p.209-222, 1988.

SANTI, A.L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 150f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SANTOS, H. L.; VASCONCELOS, C. A. Determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n.2, p.97-100, 1987.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. **Ci. Rural**, Santa Maria, v.29, n.2., p.259-265, 1999.

SANTOS, P. A.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; KITAMURA, A. E.; FREITAS, E. E.; VANZELA, L. S. Correlação linear e espacial entre o rendimento de grãos do feijoeiro e a resistência mecânica à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.29, n. 6, p.287-295, 2005.

SANTOS, M. L.; CARVALHO, M. P.; RAPASSI, R. M. A.; MURAISHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F. A. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta sci.**, Maringá, n. 3, v. 28, p. 313-321, 2006.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema de plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.85-91, 2000.

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

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; DA ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.28, n. 5, p.797-804, 2004.

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.29, n. 3, p.407-414, 2005.

SHAPIRO, S.S., WILK, M.B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, London, v.52, n.3, p.591-611, 1965.

SILVA, J.R.; NOGUEIRA JUNIOR, S. Cereais de inverno: entraves e possibilidade no Estado de São Paulo. **Informativo Econômico**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 1, p. 51-57, 2001.

SILVA, V.R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em parcelas experimentais em um Argissolo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p.399-406, 2004.

SILVEIRA, P.M. et al. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v.35, n.9, p.2057-2064, 2000.

SILVEIRA, P.M. et al. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um Latossolo submetido a sistemas de preparo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1325-1332, 2002.

SIQUEIRA, G.M. et al. Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.1, p.203-211, 2008.

SOARES FILHO, C.V., MONTEIRO, F.A., CORSI, M. Recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria decumbens*. 1. Efeito de diferentes tratamentos de fertilização e manejo. **Pasturas tropicales**, Cali, v.14, n.2, p.26, 1992.

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

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo vermelho Distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 25, n.5, p. 699-707, 2001.

SOUZA, C.K. et al. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um latossolo em Jaboticabal (SP). **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.27, n.9, p.1067-1074, 2003.

SOUZA, Z.M. et al. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciênc. Rural**, Santa Maria, v.34, n.9, p.1763-1771, 2004a.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BENTO, M. J. C. Variabilidade, espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **R Bras. Eng. Agríc. Amb.**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 51-58, 2004b.

SOUZA NETO, J.M.; PEDREIRA, C. G. S. Caracterização do grau de degradação de pastagens. In: SIMPOSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 9, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 8-31.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004. Disponível em < [scielo.com.br](http://scielo.com.br) >. Acesso em: 02 dez. 2008.

TRANGMAR, B.B., YOST, R.S.; WADE, M.K.; UEHARA, G.; SUDJADI, M. Spatial variation of soil properties and rice yield on recently cleared land. **Soil Society of American Journal**, Madison, v. 51, n. 3, p. 668-674, 1987.

TREVISAN, V. **Avaliação dos atributos físicos de um complexo de solos hidromórficos sob diferentes sistemas de manejo**. 2005. 114f. Dissertação (Mestrado

em Agronomia) – Faculdade de Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2005.

TYLER, D.D. Soil sampling in no-tillage cropping. **Better Crops with Plant Food**, Atlanta, v. 69, n.1., p. 206-227, 1985.

UNGER, W.P.; KASPAR, T.C. Compaction and root growth: a review. **Agron. J.**, Madison, v.86, n.5, p.759-766, 1994.

VALLE, C. B.; EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M., C. M. A. Planta forrageira no sistema de produção. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17., 2001, **Anais...** Piracicaba:SBZ , 2001. 458 p.

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 143f. Tese (Doutorado) – Faculdade Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2001.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial**: curso de atualização em conservação de solos. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1995. 61p. (Apostila).

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v.56, n.1, p.181-190, 1997.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, A. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Comp.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54.

VILELA, L.; MACEDO, M. C. M.; MARTHA JR, G. B.; KLUTHCOUSKI, J. **Benefícios da integração lavoura-pecuária**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 570p.

VILELA, H. **Pastagem**: seleção de plantas forrageiras, implantação e adubação. Viçosa: Aprenda fácil, 2005. 283 p.



WEBSTER, R. **Quantitative spatial analysis of soil in the field**. New York: Advances in Soil Science, 1985. p. 1-70.

ZIMBACK, C. R.; CATANEO, A. Variabilidade espacial das características físicas de solos. In: AVANCES EN EL MANEJO DEL SUELOS Y AGUA EM LA INGENIERÍA RURAL LATINO AMERICANA, n.1, 1998, La Plata. **Anais...** La Plata: UNLP, 1998. p. 132-137.

## 7. ANEXO

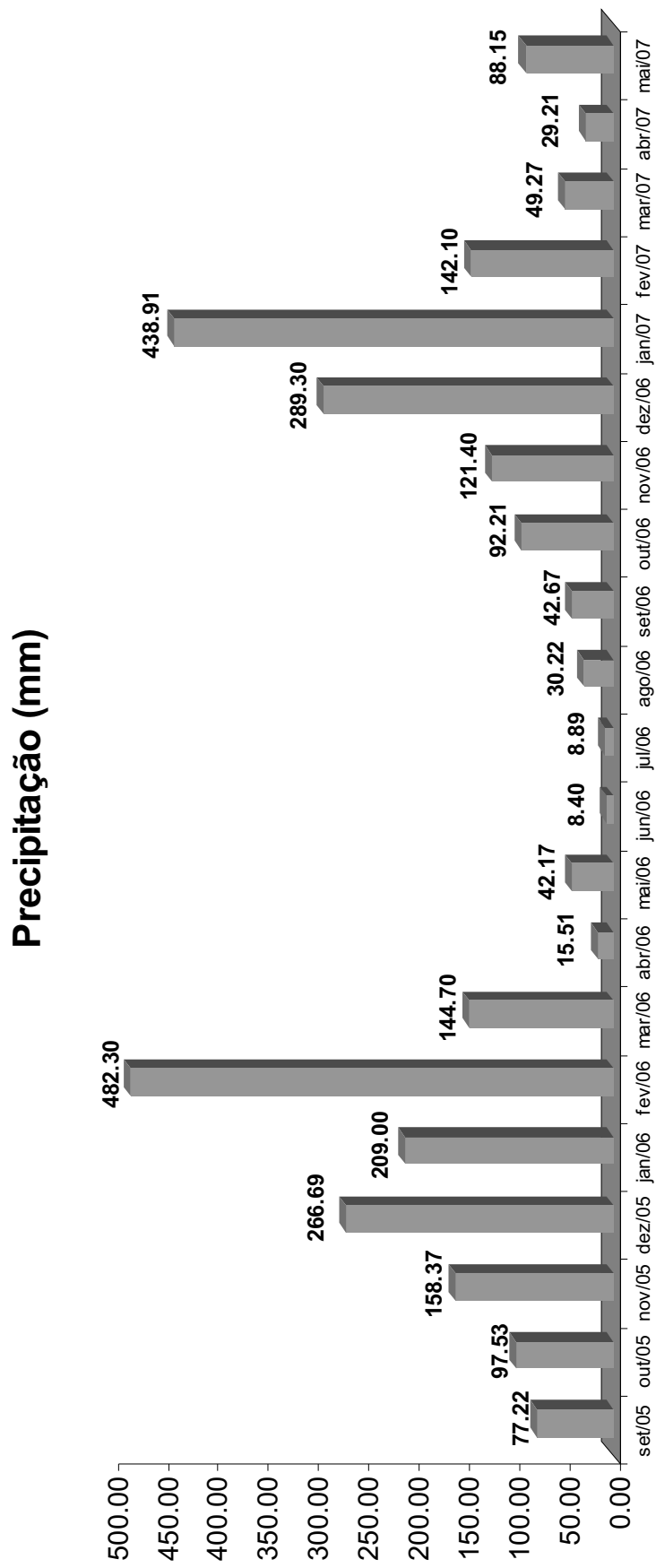


Gráfico 1. Precipitação mensal ocorrida durante o período de condução do experimento. Selvíria, MS (2005/2006).