

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

**PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DE ATRIBUTOS
FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO
DISTROFÉRRICO SOB PLANTIO DIRETO**

Gilberto Rosa Filho
Engenheiro Agrônomo

ILHA SOLTEIRA
ESTADO DE SÃO PAULO
JUNHO - 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRONOMIA “SISTEMA DE PRODUÇÃO”

**PRODUTIVIDADE DA SOJA EM FUNÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICOS
DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO SOB PLANTIO
DIRETO**

Gilberto Rosa Filho
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia – UNESP - Campus de Ilha Solteira para a obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA, área de concentração em Sistemas de Produção.

Ilha Solteira–SP
Junho/2008

DEDICATÓRIA

DEDICO

Aos meus pais, “Gilberto Rosa e Suely Melges Rosa”, que me educaram e me deram a oportunidade para mais esta conquista em minha vida, que nos momentos difíceis, me compreenderam e me incentivaram, demonstrando todo carinho, respeito, confiança e amor que sentem por mim. Amo vocês!

Agradeço
a Deus,
por ter me iluminado com força e
sabedoria em todas as horas de meu
caminho

OFEREÇO

Aos meus irmãos Danilo Rafael Melges Rosa
e Gustavo Melges Rosa, e à minha namorada, Ana Paula de Oliveira,
pelo carinho, incentivo e amor.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me permitiu a realização deste ideal de vida e sempre me deu forças para superar as dificuldades.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo- FAPESP, pela bolsa de estudos concedida.

À Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Sistema de Produção, pelo acolhimento e pelas condições de aprendizado oferecido ao longo do curso.

À Ilha Solteira, pelos momentos inesquecíveis, acolhimento e fraternidade.

Ao Prof. Dr. Morel de Passos e Carvalho, pela valiosa orientação acadêmica dedicada nos últimos anos, que me revelou autêntica demonstração de profissionalismo, competência, humildade, confiança e companheirismo à minha pessoa, a quem considero não só como um amigo, mais como um exemplo de vida.

Aos professores membros da banca examinadora, Dra. Célia Regina Lopes Zimback e Dr. Marcelo Andreotti, pelas brilhantes sugestões apresentadas.

Aos professores e funcionários do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos do Campus de Ilha Solteira e ao técnico Valdivino, por toda a ajuda, paciência e ensinamentos.

Aos funcionários da Fazenda de Ensino e Pesquisa: Juninho, Joãozinho, Carlão e Carlinhos, pelo apoio prestado.

Aos amigos da República, Fernando e Flávio, com quem convivi durante o Mestrado, pelas varias experiências vividas, as festas...

Aos amigos da turma, Ana Carolina, Fabiano, Juliano, Graciela, Marcelo, Rildo, Ronaldo, Samuel, Vagner e Washington, pelas horas de estudo em conjunto e pela amizade.

E a todos aqueles que, diretamente ou indiretamente, tiveram alguma participação nesta minha jornada.

ROSA FILHO, G. **Produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob plantio direto**. Ilha Solteira, 2008. 89f. Dissertação. (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

RESUMO

Atualmente, no cenário nacional, a cultura da soja no sistema plantio direto é amplamente utilizada na integração agricultura-pecuária. No ano agrícola de 2006/07, no município de Selvíria (MS), foi analisada a produtividade da soja, em plantio direto, em função de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico (Typic Acrustox) local. O objetivo foi selecionar entre os atributos pesquisados do solo aquele que melhor se apresentasse para explicar a variabilidade da produtividade agrícola. Para tanto, foi instalada a malha geoestatística para a coleta dos dados do solo e da planta, contendo 120 pontos amostrais, numa área de 4068 m² e declive homogêneo de 0,025 m m⁻¹. Do ponto de vista linear e espacial, a elevada produtividade de grãos de soja pôde ser explicada em função da densidade do solo e da umidade volumétrica. A baixa variabilidade obtida para a maioria dos atributos do solo denotou ser o plantio direto um sistema que proporciona a homogeneização do ambiente físico do solo.

Termos de indexação: integração agricultura-pecuária, manejo do solo, qualidade física do solo, agricultura de precisão, krigagem, *Glycine max*.

ROSA FILHO, G. **Soybean yield regarding physical attributes of a Typic Acrustox under no-tillage**. Ilha Solteira, 2008. 89f. Dissertation. (Master Degree of Systems of Production) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

ABSTRACT

Nowadays the soybean crop in no-tillage is widely used in the national crop-livestock integration. The soybean productivity in no-tillage was analysed in Selvíria County (Mato Grosso do Sul State – Brazil), during the 2006/07 agricultural year, in function of some physical attributes of a Typic Acrustox local. The objective was to select, among the soil attributes, the one that better could stand out in way to explain the variability of the agricultural productivity. Therefore, a geostatistical grid was installed for data collecting regarding the soil and the plant, with 120 sampling station, in an area of 4068 m² and homogeneous slope of 0,025 m m⁻¹. In the linear and spatial point of view, the high productivity of soybean grains could be explained by reason of both bulk density and volumetric moisture. The low variability of the majority soil attributes showed no-tillage as a system that causes the homogenization of the physical environment of soil.

Index terms: crop-livestock integration, soil management, physical quality of the soil, precision farming, kriging, *Glycine max*.

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Página
1 Equações de regressão entre atributos da cultura da soja num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).....	46
2 Equações de regressão entre atributos da cultura da soja com alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).....	47
3 Equações de regressão entre atributos de um Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).....	48
4 Semivariogramas simples dos atributos (PG, MM e GS) da produtividade da soja num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).....	52
5 Semivariogramas simples dos atributos (MA1, MA2, MI1, MI2, PT1, PT2, DS1 e DS2) num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).....	53
6 Semivariogramas simples dos atributos (RP1, RP2, UG1, #UG2, UV1 e UV2) num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).....	54
7 Validação cruzada dos atributos (PG, MM e GS) da produtividade da soja num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).....	58
8 Validação cruzada dos atributos (MA2, PT2, DS2, RP1, UG1, UV1 e UV2) num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).....	59
9 Mapas de krigagem dos atributos (PG, MM e GS) da produtividade da soja num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).....	60
10 Mapas de krigagem dos atributos (MA2, PT2 e DS2) num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).....	61
11 Mapas de krigagem dos atributos (RP1, UG1, UV1 e UV2) num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).....	62

12	Semivariograma cruzado e mapas de co-krigagem da produtividade da soja (PG) em função da massa de mil grãos (MM) e da germinação de sementes (GS) num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).....	65
13	Semivariograma cruzado e mapas de co-krigagem da produtividade da soja (PG) em função da porosidade total (PT2) e da umidade volumétrica (UV2) num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).....	66
14	Semivariograma cruzado e mapa de co-krigagem da resistência à penetração (RP1) em função da umidade gravimétrica (UG1) num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).....	67

LISTA DE QUADROS

Quadros	Página
1 Características químicas do solo antes da implantação do experimento.....	30
2 Características físicas do solo antes da implantação do experimento.....	30
4 Análise descritiva inicial de alguns atributos da produtividade da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).....	36
4 Matriz de correlação linear simples entre a produtividade de grãos de soja e alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).....	41
5 Equação de regressão linear simples e coeficientes do ajuste entre atributos da produtividade de soja e de um Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).....	45
6 Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos da produtividade da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).....	51
7 Parâmetros das validações cruzadas referentes às krigagens de alguns atributos da produtividade da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).....	57
8 Parâmetros dos semivariogramas cruzados ajustados para alguns atributos da produtividade da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).....	64

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice	Página
A (a) Área experimental antes da dessecação/semadura da soja; (b) Vista da coleta das amostras indeformadas do solo; (c) Detalhe da coleta da resistência à penetração, e (d) Coleta de amostras deformadas do solo.....	82
B (a) e (b) Instalação do experimento; (c) Emergência das plântulas, 5 dias após a semeadura (DAS); (d) 12 DAS; (e) 18 DAS, e (f) 40 DAS.....	83
C (a) e (b) Florescimento, 53 DAS; (c) e (d) 70 DAS; e (e) e (f) 86 DAS.....	84
D (a) 96 DAS; (b) Estaqueamento da malha, 104 DAS; (c) Dia da colheita, 111 DAS; (d) Área colhida de 3,24m ² ; (e) Experimento colhido.....	85
E (a) e (b) Detalhe da sonda na coleta da umidade do solo; (c) Detalhe da coleta da resistência mecânica; (d) e (e) Vista da coleta das amostras indeformadas do solo; e (f) Detalhe das amostras indeformadas do solo.....	86
F Esquema de campo da malha experimental de coletas de dados, seqüencialmente do ponto amostral 1 até o 120.....	87
G Quadro com as coordenadas cartesianas dos pontos amostrais da malha experimental.....	88
H Dados climatológicos coletados durante a condução do experimento.....	89

SUMÁRIO

Página

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. DESENVOLVIMENTO.....	17
2.1. Aspectos gerais da cultura da soja.....	17
2.2. Sistemas de preparo do solo utilizados para a cultura da soja.....	18
2.2.1. Sistema plantio direto.....	18
2.2.2. Preparo reduzido.....	19
2.2.3. Preparo convencional.....	19
2.3. Atributos físicos do solo: densidade, resistência à penetração, umidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total.....	20
2.4. A geoestatística na pesquisa agronômica.....	23
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1. Caracterização do local de origem dos dados.....	28
3.2. Caracterização inicial do solo pesquisado.....	28
3.3. Implantação e condução da planta-teste pesquisada.....	29
3.4. Implantação e caracterização da malha experimental utilizada para coletas dos atributos pesquisados.....	29
3.5. Coleta e metodologia de determinação dos atributos pesquisados.....	31
3.6. Análise estatística dos atributos pesquisados.....	32
3.6.1. Análise descritiva inicial dos dados.....	32
3.6.2. Análise de regressão.....	33
3.6.3. Análise geoestatística.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1. Análise descritiva dos dados.....	35
4.1.1. Variabilidade dos atributos estudados.....	35
4.1.1.1. Atributos da planta.....	35
4.1.1.2. Atributos do solo.....	35
4.1.2. Distribuição de frequência e valores médios dos atributos estudados.....	37
4.1.2.1. Distribuição de frequência dos atributos.....	37
4.1.2.2. Valores médios.....	38
4.1.2.2.1. Atributos da planta.....	38

4.1.2.2.2. Atributos do solo.....	38
4.2. Análise de regressão entre os atributos estudados.....	40
4.2.1. Regressão linear simples.....	40
4.2.1.1. Matriz de correlação linear simples entre os atributos estudados.....	40
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.....	42
4.2.1.1.3. Atributos do solo <i>versus</i> atributos do solo.....	43
4.2.1.2. Regressão linear simples entre os atributos estudados.....	44
4.3. Análise geoestatística dos atributos estudados.....	50
4.3.1. Análise semivariográfica simples.....	50
4.3.1.1. Ajuste dos semivariogramas simples dos atributos estudados.....	50
4.3.1.2. Validação cruzada dos semivariogramas simples dos atributos estudados.....	56
4.3.1.3. Mapas de krigagem dos atributos estudados.....	56
4.3.2. Análise semivariográfica cruzada.....	63
4.3.2.1. Ajuste dos semivariogramas cruzados e mapas de co- krigagem dos atributos estudados.....	63
5. CONCLUSÕES.....	69
6. REFERÊNCIAS.....	70
7. APÊNDICE.....	81

1. INTRODUÇÃO

Na safra 2006/07, o Brasil figurou como o segundo produtor mundial de soja, com uma área de $20,7.10^6$ de hectares, equivalente à produção de $58,4.10^6$ t. No contexto das grandes culturas produtoras de grãos, esta oleaginosa foi a que mais cresceu em termos de produção nos últimos 32 anos, tanto no âmbito mundial quanto no nacional. De 1970 a 2003, o crescimento da sua produção global foi da ordem de 333% (de $43,7.10^6$ t para $189,2.10^6$ t), enquanto que as das culturas como o trigo, arroz, milho, feijão, cevada e o girassol cresceram de 19 a 177%.

O uso inadequado de equipamentos de preparo, juntamente com drásticas práticas de manejo adotadas pelos agricultores, é o principal fator da degradação dos solos. Dependendo do grau de alteração das suas propriedades físicas, podem ser produzidas condições limitantes ao desenvolvimento das culturas, com conseqüências à produtividade vegetal. As áreas cultivadas sob sistemas conservacionistas de manejo, como o plantio direto e o cultivo mínimo, vêm apresentando grande crescimento na agricultura brasileira em função dos benefícios relacionados com a sustentabilidade desses sistemas. Assim, manejos conservacionistas do solo, quando comparados ao preparo convencional, proporcionam características físicas e químicas distintas no seu perfil. As operações de mobilização empreendidas por tais manejos podem piorar suas propriedades físicas, tais como a densidade do solo, porosidade e a resistência mecânica à penetração. Isto pode afetar a distribuição e a morfologia das raízes de forma muito peculiar, com reflexos negativos ao crescimento da parte aérea do vegetal. Desta forma, para um determinado tipo de solo, a resistência à penetração depende intimamente da sua densidade, do grau de umidade e da estrutura, assim como, varia na razão inversa da umidade, e na direta com a densidade.

O conhecimento do comportamento físico do solo possibilita adequar as atividades agrícolas à sua aptidão, o que pode reduzir a erosão das camadas superficiais e, por

consequência, sua degradação física, química e biológica. O efeito do condicionamento físico do solo sobre o crescimento das plantas ocorre pela atuação de vários de seus atributos, bem como das interações entre eles.

A agricultura de precisão, representada pela tentativa de desenvolvimento econômico do meio rural, é apoiada no ótimo da eficiência gerencial, que determinadas áreas agrícolas necessitam, de forma localizada no espaço. Assim, a partir do mapeamento das correlações existentes, diretas e/ou indiretas, entre os atributos do solo e a produtividade das culturas, pode-se efetuar a execução de determinada prática conservacionista, tal como a adubação e/ou descompactação, de forma direcionada e com taxas variáveis. Portanto, nas áreas de menores produtividades agrícolas, normalmente associadas aos baixos níveis de fertilidade do solo, seriam destinadas as maiores taxas de fertilizantes, sendo perfeitamente válido o inverso. A partir do georeferenciamento da maioria das informações necessárias, podem ser editados mapas digitais para todas elas, isoladas ou conjuntamente, objetivando a aplicação final dos insumos com taxas variáveis.

A geoestatística é utilizada para o estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo e da planta, tendo o semivariograma como elemento que atesta sua aplicabilidade. Seu uso requer a coleta de amostras previamente planejadas, com a localização espacial exata de cada ponto amostral. Estudos geoestatísticos têm relatado a influência dos atributos do solo sobre o padrão e a distribuição espacial da produtividade vegetal. Assim, sabe-se que a planta atua de forma a responder, sobretudo quando sua produtividade é analisada espacialmente, de forma positiva e/ou negativa, conforme o comportamento da variabilidade dos atributos do solo. Por outro lado, sendo o semivariograma uma ferramenta básica de suporte às técnicas geoestatísticas de mapeamento por krigagem, é possível representar quantitativamente o comportamento espacial de uma variável regionalizada de um atributo qualquer. É caracterizado por três parâmetros: patamar, efeito pepita e alcance. Este último representa a distância na qual o valor de um determinado atributo é estatisticamente igual. Assim, valores de um atributo, localizados dentro da área cujo raio é igual ao seu valor, possuem entre si extrema semelhança em magnitude. Contudo, passam a assumir valores diferentes, maiores ou menores, somente para distâncias estabelecidas a partir do seu valor. Seu conhecimento é de extrema importância à agricultura de precisão, uma vez que os programas computacionais o utilizam para, em função da tecnologia que o geoprocessamento desempenha via satélite, poder monitorar o trator agrícola, equipado com a semeadora/adubadora, e assim poder efetuar a distribuição no terreno de um determinado insumo com taxas variáveis.

Diante do exposto, a presente pesquisa, realizada num Latossolo Vermelho Distroférrico sob sistema plantio direto, na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP), município de Selvíria (MS), objetivou: a) analisar a variabilidade dos atributos estudados da planta e do solo; b) definir as correlações lineares e espaciais entre a produtividade da soja com os atributos físicos do solo pesquisado, e c) pesquisar, entre os atributos físicos estudados do solo, aquele que melhor se apresente para explicar a variabilidade da produtividade da soja.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Aspectos gerais da cultura da soja

No Brasil, a soja responde por 94,5% das oleaginosas cultivadas, constituindo-se numa das mais tecnificadas culturas, e também o principal produto agrícola de exportação. Nos últimos anos houve um aumento considerável da sua área cultivada, inclusive com a abertura de novas fronteiras agrícolas, como é o caso do Cerrado e da Amazônia. Por outro lado, a sua crescente utilização, na recuperação do solo degradado, por meio do seu emprego na rotação de culturas com a pastagem, atualmente designado com integração agricultura-pecuária, constitui-se numa excelente alternativa para o uso agrícola, sobretudo por explorar o desejado aspecto da capacidade de fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico. O grão da soja constitui-se numa excelente fonte de proteína e óleo vegetal, atendendo satisfatoriamente as exigências alimentares humanas e animais. Atualmente, dos pontos de vista alimentar e econômico, é a mais importante oleaginosa cultivada no mundo (BLACK, 2000).

A cultura da soja teve um grande desenvolvimento nas últimas três décadas no Brasil, sendo uma das principais fontes de exportação agrícola, responsável pelo superávit da balança comercial do país. O crescimento de sua produção, com implicação direta no aumento de sua capacidade competitiva comercial, está associado aos avanços científicos e à disponibilidade de elevados níveis tecnológicos (MERCANTE, 2003).

O levantamento da variabilidade espacial da produção das culturas pode ser entendido como uma etapa fundamental do gerenciamento da produção por meio de técnicas de agricultura de precisão. Embora existam inúmeras possibilidades para se tratar as áreas produtivas de acordo com suas limitações, somente com o conhecimento da variabilidade da produção é possível determinar quais práticas agrícolas utilizadas são eficazes para elevar tal produção, com a redução dos custos. As informações obtidas por meio do mapeamento da produtividade podem ser utilizadas para uma série de análises e interferências na área. Por meio da coleção de mapas de produtividade é possível identificar como a variabilidade ocorre

em termos de distribuição espacial, temporal e em termos quantitativos (MACHADO et al.; 2004).

2.2. Sistemas de preparo do solo utilizados para a cultura da soja

No Brasil, os sistemas de preparo do solo para o estabelecimento da cultura da soja são o convencional, o preparo reduzido e o plantio direto. Atualmente, o sistema mais utilizado ainda é o convencional, caracterizado pela excessiva mobilização do solo, acarretando muitas vezes numa elevada erosão. Diante do aumento da fronteira agrícola nacional na última década, caracterizada pelo cultivo dos solos do Cerrado Brasileiro, o preparo convencional vem perdendo área de cultivo, em benefício do sistema plantio direto, caracterizado por apresentar menores taxas de erosão do solo.

A escolha de um determinado sistema de preparo do solo deve levar em consideração as respostas ao aumento das produtividades das culturas agronômicas que, sobretudo, visem à diminuição das perdas por erosão, proporcionem o controle das plantas daninhas, aumentem a capacidade de retenção e a movimentação de água e recuperem suas propriedades físicas, químicas e biológicas (HENKLAIN, 1997). Neste sentido, Siqueira (1999) relatou que a principal exigência para o bom desenvolvimento de uma cultura agronômica é a existência de um solo com ótimas condições físicas, ou seja, com boa estruturação. Esta condição, quando obtida, fornece uma distribuição adequada da porosidade, otimizando a disponibilidade de água e as trocas gasosas às plantas.

O uso inadequado de equipamentos de preparo do solo e as severas práticas de manejo adotadas pelos agricultores são os principais fatores da sua degradação. Dependendo do grau de alteração das propriedades físicas, podem ser produzidas condições de extrema limitação ao desenvolvimento das culturas e, conseqüentemente, implicar no decréscimo da produtividade agrícola. Formas alternativas de manejo do solo, que empregam uma mínima mobilização, ou à sua ausência total, que mantêm quantidades consideráveis de resíduos vegetais na superfície e que favorecem a sua conservação, vêm se destacando no Brasil (SILVA, 2000).

2.2.1. Sistema plantio direto

O plantio direto é um sistema no qual a semente é depositada diretamente no solo não revolvido, onde os resíduos da cultura anterior permanecem na superfície e as plantas daninhas são controladas quimicamente pela utilização de herbicidas. Comparado aos outros métodos de cultivo, ele se sobressai por apresentar uma elevada atenuação da energia de impacto das gotas de chuva com solo, pelo amortecimento que sua camada de cobertura morta proporciona contra a manifestação da erosão (DERPSCH et al., 1991).

O sistema plantio direto tem como principal característica o revolvimento do solo exclusivamente na linha de semeadura, mantendo os resíduos vegetais na superfície. Conseqüentemente, são minimizados os efeitos erosivos das chuvas intensas que ocorrem nos climas tropicais (BARIZON, 2001). A camada de cobertura morta, resultante do acúmulo do resíduo vegetal, diminui as oscilações de temperatura e da umidade na camada superficial do solo, contribuindo para a manutenção de um pedo-clima ameno, com maior capacidade de retenção de água nos períodos quentes e/ou de estiagem prolongada (COLOZZI FILHO, 2000).

2.2.2. Preparo reduzido

O preparo reduzido do solo, por possibilitar baixa inversão da leiva de movimentação, menor número de operações e baixa incorporação dos resíduos vegetais, apresenta vantagens em relação aos sistemas tradicionais de mobilização, em função do menor custo de preparo e da redução das perdas de solo e água. Por outro lado, Moraes (1984) afirmou que a redução da erosão é obtida pela existência dos resíduos culturais na superfície do solo, assim como pelo aumento da rugosidade superficial e da porosidade, melhorando, desse modo, a infiltração de água no seu perfil (DALLMEYER, 1994).

O cultivo mínimo, designação também feita ao preparo reduzido, consiste no mínimo revolvimento do solo e na manutenção dos resíduos vegetais, em maior quantidade possível na sua superfície. Ele implica na redução das operações de manejo. Esse sistema já está bastante difundido no país, sendo realizado pelo uso de escarificadores, normalmente equipados com discos de corte na dianteira de cada haste para operações nas quais haja resteva na superfície. Também acompanha o equipamento um rolo destorroador que tem por função diminuir o tamanho dos torrões e nivelar o solo para a semeadura, fazendo com que o equipamento de forma conjugada, realize mais de uma operação de preparo a cada vez que é utilizado (FURLANI, 2000).

2.2.3. Preparo convencional

O preparo convencional do solo refere-se à denominação dada ao sistema mais utilizado pelos agricultores nacionais, tendo como características o elevadíssimo grau de mobilização e de desagregação. Possui como base o uso do arado e da grade de discos, implicando numa camada de solo desprovida de resíduos vegetais e substancialmente desagregada, com o intuito de facilitar a semeadura e a aplicação dos insumos agrícolas, entre os quais, o adubo e os herbicidas em pré-emergência. Portanto, esta condição é muito favorável à erosão, por apresentar camadas densas e impermeáveis que se formam no perfil, geralmente na profundidade entre 0,15 e 0,25 m, como resultado do uso intenso dos

implementos de discos e/ou aivecas, assim como pelo excessivo tráfego das máquinas agrícolas (HOOGMOED; DERPSCH, 1985).

Manejos conservacionistas do solo, quando comparados ao preparo convencional, proporcionam características físicas e químicas distintas no seu perfil. As operações de mobilização empreendidas por tais manejos podem piorar suas propriedades físicas, tais como a densidade do solo, a porosidade e a resistência à penetração. Isto pode afetar a distribuição e a morfologia das raízes de forma muito peculiar, com reflexos negativos ao crescimento da parte aérea do vegetal (KLEPKER ; ANGHINONI, 1995).

2.3. Atributos físicos do solo: densidade, resistência à penetração, umidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total

A dureza do solo é um atributo que avalia sua resistência à deformação, normalmente avaliada pela raiz da planta, pelos implementos empregados no seu preparo, ou pela ponta cônica de um penetrômetro qualquer. Assim, resistência à penetração, fisicamente estabelecida pela pressão, é a razão entre a força necessária para a penetração de uma haste metálica do penetrômetro, provida de um cone na sua extremidade, cuja área basal é conhecida e constante (BRADFORD, 1980, BENGOUGH; MULLINS, 1990, BENGOUGH et al., 2001).

Na avaliação da resistência à penetração, comparações entre sistemas de preparo do solo ficam dificultadas devido à extrema variabilidade da umidade que, por ser tomada em concomitância a tal resistência, funciona como variável controle. Este procedimento permite que os valores da resistência, que normalmente apresentam elevada variabilidade, possam ser comparados entre distintos sistemas de preparo. Por outro lado, para um determinado tipo de solo, a resistência à penetração depende intimamente da sua densidade, do grau de umidade e da estrutura, assim como, varia na razão inversa da umidade, e na direta com a densidade (BENGOUGH et al., 2001).

Assim, com o objetivo de poder comparar os dados de resistência, originados das distintas formas de preparo do solo, ou de distintas profundidades, condições nas quais a variabilidade da sua umidade é reinante, procurou-se estabelecer a seguinte metodologia de coleta de dados de campo, a seguir. Para a coleta dos dados de campo da resistência à penetração, deve-se esperar um período contínuo de intensas chuvas (3-4 dias), que ocorre normalmente entre dezembro e fevereiro para as condições do Brasil, o que proporciona a saturação completa da porosidade total do solo. Seguidamente, 3 a 4 dias após o término das chuvas, devem ser coletados concomitantemente os dados, de resistência e umidade, uma vez que o solo estará, muito provavelmente, com seu conteúdo de água preenchendo dois terço da

sua microporosidade total (capacidade de campo), grau de umidade tido como ideal para tal procedimento (BENGOUGH et al., 2001).

A umidade possui pouco efeito sobre a resistência à penetração do solo empolado e solto, aumentando, contudo, com o aumento de sua densidade. Por outro lado, a influência da densidade sobre a resistência é tão maior quanto mais seco estiver o solo. A taxa de alongamento radicular diminui com o aumento da resistência ao penetrômetro, que contrariamente às raízes, segue um trajeto linear no solo, de forma insensível à presença dos bioporos, planos de clivagem e/ou fraqueza, locais esses de extrema avidez ao alongamento radicular (BENGOUGH et al., 2001).

Os penetrômetros superestimam a taxa de alongamento radicular. Avaliações de campo evidenciaram valores de resistência à penetração de duas a oito vezes maiores do que os das raízes. Assim, valores críticos de resistência, avaliados com o penetrômetro em condições de campo, nos quais o alongamento radicular é cessado, variaram entre 0,8-5,0 MPa, dependendo do solo e da cultura. Por outro lado, a máxima pressão axial, que a raiz pode exercer, pode variar de 0,24 e 1,45 MPa, dependendo da espécie. Desta forma, o alongamento radicular cessa no solo quando a resistência, avaliada pelo penetrômetro, for muito maior do que a máxima pressão que a raiz poderá exercer (BENGOUGH et al., 2001).

Sabe-se que um solo com valores de resistência à penetração variando entre 1,0 e 3,5 MPa (CANARACHE, 1990, MEROTTO; MUNDSTOCK, 1999), ou de 2,0 a 4,0 MPa, segundo Arshad et al. (1996), poderá restringir ou mesmo impedir o crescimento e o desenvolvimento das raízes.

Os níveis críticos de resistência para o crescimento radicular das plantas variam com o tipo de solo e com a espécie cultivada. Entretanto, quando obtida no momento em que a umidade do solo estiver equivalendo 2/3 da microporosidade total (solo friável/macio), a maioria dos trabalhos adota a seguinte classificação da resistência à penetração (RP), estabelecida por Arshad et al. (1996): a) extremamente baixa: $RP < 0,01$ MPa; b) muito baixa: $0,01 \leq RP < 0,1$ MPa; c) baixa: $0,1 \leq RP < 1,0$ MPa; d) moderada: $1,0 \leq RP < 2,0$ MPa; e) alta: $2,0 \leq RP < 4,0$ MPa; f) muito alta: $4,0 \leq RP < 8,0$ MPa e g) extremamente alta: $RP \geq 8,0$ MPa.

Pauletto et al. (1989) constataram que somente seriam consideradas camadas compactadas aquelas nas quais os valores de resistência à penetração fossem superiores a 1,72 MPa, alertando também para o fato de que o limite superior de 2,32 MPa impediria o desenvolvimento do sistema radicular das plantas de milho. Por outro lado, para o conceito de

intervalo hídrico ótimo, Silva et al. (1994) relacionaram o valor de 2,0 MPa como limite para o desenvolvimento radicular. Neste aspecto, Pérez-Gomar et al. (2002) observaram que quando a umidade do solo encontra-se ao redor de $0,24 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a resistência à penetração resultou valores superiores ao referido 2,0 MPa, encontrando-se também uma zona mais compactada entre a camada de 0,15 a 0,30m. À medida que a umidade do solo aumentou para valores próximos de $0,29 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a resistência à penetração diminuiu, porém a camada resistente persistiu. Também, na condição de solo saturado, foram registrados os menores valores de resistência à penetração, mesmo na zona mais compactada.

O efeito do condicionamento físico do solo sobre o crescimento das plantas ocorre pela atuação de vários de seus atributos, bem como das interações entre eles. A própria sazonalidade climática contribui para a complexidade do sistema. Como exemplo, as variações da umidade do solo promovem alterações da aeração, na condutividade hidráulica, no potencial de água e na resistência à penetração. Desta forma, os atributos físicos do solo relacionados com a produtividade das culturas podem ser divididos em duas categorias. A primeira relaciona aqueles 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).

O conhecimento do comportamento físico do solo possibilita adequar as atividades agrícolas à sua aptidão, o que pode reduzir a erosão das camadas superficiais e, por consequência, sua degradação física, química e biológica. A infiltração de água no solo e a espessura do horizonte A fornecem indicativos de sua qualidade, gerando informações que tornam possível verificar a existência de camadas compactadas, a formação superficial de crostas, bem como as consequências dos processos erosivos (BERTOLANI; VIEIRA, 2001).

A resistência do solo à penetração é um atributo físico relativamente fácil de ser obtido e, de certa forma, de ser correlacionado com a densidade e a macroporosidade. Para um mesmo solo, quanto maior a densidade do solo, maior será a resistência à penetração e menor a macroporosidade. Esta última constitui-se no principal espaço para o crescimento das raízes. Deve ser levado em conta, no entanto, que a resistência à penetração do solo é mais afetada pela variação dos conteúdos de sua umidade (MERCANTE et. al., 2003).

Do ponto de vista físico-químico coloidal, o solo é um sistema trifásico disperso. Desta forma, exclusivamente com base no volume, o solo considerado ideal, do ponto de vista agrônomo, é aquele que apresenta $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de porosidade total ($0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de microporosidade, que é responsável pelo armazenamento de água, e $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de macroporosidade, responsável pela aeração do solo) e $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de volumes sólidos ($0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de matéria mineral e $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de matéria orgânica), conforme preceitos de KIEHL (1979).

O uso e o manejo do solo alteram a sua densidade e, conseqüentemente, a porosidade total e a de aeração. A porosidade de aeração é a razão entre o volume de ar, avaliado quando sua umidade estiver na capacidade de campo, e seu volume total. O ar ocupa o espaço poroso do solo não ocupado pela água. Para um solo seco, todo o espaço vazio (porosidade total) é ocupado pelo ar. A exigência das plantas para com a aeração do solo, isto é, a porosidade livre de água necessária para o seu pleno desenvolvimento, varia entre as espécies e os tipos de solos. Camargo e Alleoni (1997) também mostraram que as trocas gasosas do solo com a atmosfera são importantes para o bom desenvolvimento radicular e aéreo. Essa difusão depende diretamente da porosidade livre de água. A porosidade de aeração é muito importante para a ramificação uniforme das raízes, pois, se ocorre baixa aeração, há uma proliferação das raízes superficiais. Esse aumento da concentração de raízes leva a planta a retirar água apenas superficialmente, podendo causar deficiência hídrica em anos de seca.

2.4. A geoestatística na pesquisa agrônômica

No estudo da variabilidade do solo podem ser utilizados basicamente dois enfoques que diferem na forma de análise dos dados. Os métodos estatísticos de rotina, aplicados às amostras de populações e denominados simplesmente de *estatística clássica*, exigem a validade de algumas hipóteses básicas, tais como a independência espacial entre as observações e a distribuição normal dos dados. Entretanto, 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 variabilidade natural deles, partindo do pressuposto da existência de uma dependência espacial entre os dados pesquisados, dentro do espaço de amostragem no campo (CARVALHO, 1991).

O conhecimento da variabilidade do solo, aspecto de extrema importância ao planejamento experimental agrícola, 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 nas situações onde a variabilidade do solo é alta, como se espera que aconteça em diferentes condições de manejo (SOUZA, 1992).

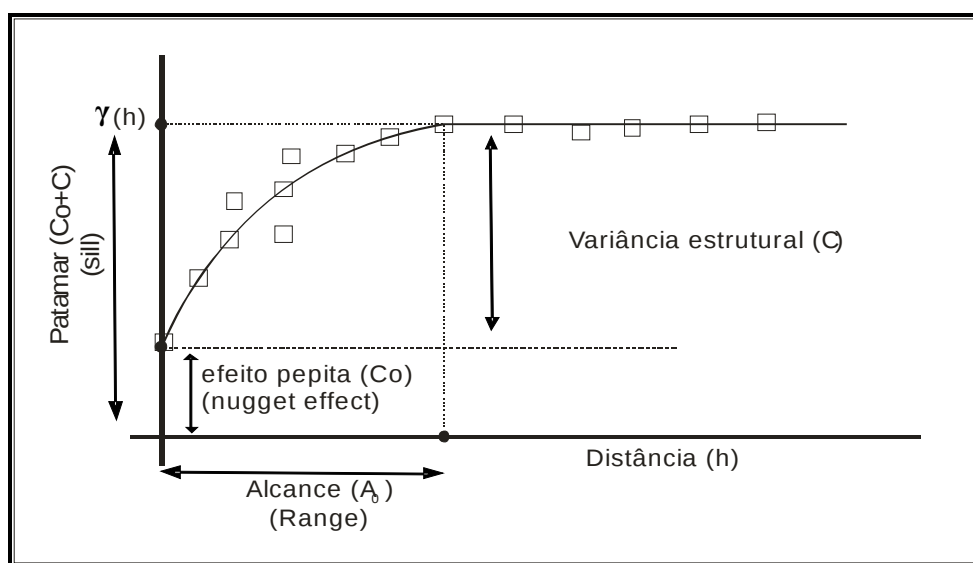
Quando uma determinada propriedade do solo varia de um local para outro, com algum grau de organização ou continuidade, expresso pela dependência espacial, a estatística clássica deve ser revista e dar lugar a uma estatística relativamente nova: a geoestatística. Por estatística clássica entende-se aquela que utiliza 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 o outro são aleatórias e com distribuição normal. Desse modo, estes dois ramos da estatística têm validade de aplicações 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).

Atualmente a estatística clássica tem sido a principal ferramenta utilizada nos estudos voltados à Ciência do Solo. Assim, além de considerar a casualização como um dos princípios fundamentais de sua utilização, preconiza a independência dos resultados das amostras às curtas distâncias. Uma amostragem simples, tomada ao acaso, nem sempre é a metodologia mais eficiente para a pesquisa dos atributos dos solos, uma vez que normalmente possuem grande variabilidade casual, que pode ser explicada pelas variações da paisagem, dos fatores de sua formação, assim como do próprio uso e manejo. 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).

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).

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, SOUZA et al., 1997, CARVALHO et al., 1998, ZIMBACK; CATANEO, 1998, VIEIRA, 2000). De acordo com o modelo teórico do GS⁺ (2004), o semivariograma apresenta como parâmetros principais: o **efeito pepita** (C_0), o **patamar** (C_0+C), a **variância estrutural** (C), e o **alcance** (A_0), os quais são apresentados conforme o esquema a seguir.



Esquema do semivariograma experimental e teórico.

O **efeito pepita** refere-se ao erro ou à variabilidade não explicada. Ele mede duas parcelas da variabilidade total: a) a de uma pequena escala não abrangida pela malha de amostragem; e b) a da variabilidade à escala da amostra, induzida por erros não sistemáticos de amostragem. Quando o efeito pepita apresentar valor constante e igual ao patamar, tem-se o chamado **efeito pepita puro**, que representa a dependência espacial nula, não podendo os dados ser analisados pela geoestatística. Neste caso, a dependência espacial, se existir, só será manifestada à distância menor do que o menor espaçamento entre as amostras (SOARES, 2000, PONTES, 2002, GUIMARÃES, 2004).

O **patamar** é o ponto onde a semivariância da amostra se estabiliza e passa a ser constante. Ele representa a variância da variável aleatória, correspondendo à variância dos dados da estatística convencional. Por outro lado, a identificação da **variância estrutural** representa a diferença entre o nível definido pela semivariância inicial (efeito pepita) e pelo patamar. Diferentemente do efeito pepita (erro), a variância estrutural corresponde ao acerto.

Já o **alcance** refere-se à distância alcançada pelo patamar, demonstrando, no geral, o limite de grandeza da dependência espacial do atributo. Ele representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si, por meio da dependência espacial. Assim, medidas localizadas nas distâncias maiores do que o alcance têm distribuição aleatória no espaço, sendo independentes entre si (TRANGMAR et al., 1985, VIEIRA, 2000, PONTES, 2002, RODRIGUES, 2002, SCHAFFRAT, 2006).

A variabilidade espacial pode ser representada por mapas, confeccionados a partir de estimativas efetuadas à variável estudada, sendo essa técnica definida como *interpolação por krigagem*. Por outro lado, se a partir de estimativas de duas variáveis que se correlacionem (primária e secundária), essa técnica denomina-se *co-krigagem*. Elas podem ser descritas como métodos que minimizam a variância estimada por meio de análise de regressão, levando-se em conta a dependência entre os dados distribuídos no espaço. Essas técnicas de montagem são embasadas em estimadores de variáveis regionalizadas, envolvendo estimação de pontos, ou áreas, e assumindo que as amostras são normalmente distribuídas e estacionárias. Desta forma, são capazes de prever o comportamento do fenômeno em estudo (TRAGMAR et al., 1985, RIBEIRO JÚNIOR, 1995, TAKEDA, 2000). Assim, as interpolações por krigagem, e por co-krigagem, estão fortemente associadas aos modelos de semivariogramas ajustados, que podem ser avaliados por meio da validação cruzada. Na sua análise, cada ponto contido dentro do domínio espacial é removido individualmente, sendo seu valor estimado por meio da krigagem como se não existisse. Portanto, pode-se construir um gráfico de valores estimados *versus* valores observados, para todos os pontos. Do conjunto de duplas (valores estimados e valores observados) de todas as amostras, calculam-se dados estatísticos básicos (média, variância dos desvios), com o objetivo de aferir a qualidade do modelo escolhido para o semivariograma (SOARES, 2000).

Atualmente no Brasil, a pesquisa geoestatística, que visa estabelecer as correlações lineares e espaciais entre atributos do solo com a produtividade das culturas, vem se intensificando. Dessa forma, os valores dos alcances das dependências espaciais observados para alguns atributos do solo e da planta foram entre: a) 23,0 e 60,6 m, para a densidade do solo (SANTOS et al., 2006, LIMA et al., 2007); b) 20,6 e 67,1m, para a resistência à penetração (SANTOS et al., 2005, CARVALHO et al., 2006, FREDDI et al., 2006); e c) 6,1 e 41,1m, para a produtividade de grãos de milho e de feijão (SANTOS et al., 2005, SANTOS et al., 2006, CARVALHO et al., 2006, FREDDI et al., 2006). 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), b) 42,9 a 77,3%, para resistência à penetração (SANTOS et al., 2005, CARVALHO et al., 2006, FREDDI et al., 2006), e c) 50,1 a 82,1%, para a produtividade de grãos de milho e de feijão (SANTOS et al., 2005, SANTOS et al., 2006, CARVALHO et al., 2006, FREDDI et al., 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do local de origem dos dados

O trabalho foi desenvolvido na 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), 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 no qual a malha experimental foi instalada, classificado por Demattê, (1980) e reclassificado⁽¹⁾ segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA-EMBRAPA, 2006a), é um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico argiloso, A moderado, hipodistrófico, álico, caulínítico, férrico, muito profundo, moderadamente ácido (Typic Acrustox), com declive homogêneo de 0,025 m m⁻¹. Sua vegetação natural é do tipo Cerrado, caracterizada por apresentar árvores de porte médio (3-5 m) e gramíneas na superfície.

3.2. Caracterização inicial do solo pesquisado

O solo no qual foi estabelecida a pesquisa vem sendo utilizado com a sucessão das culturas do milho (verão) e feijão (inverno) há pelo menos vinte anos. Nos primeiros quinze anos foi realizado o preparo convencional para ambas as culturas, ao passo que nos cinco últimos foi o sistema plantio direto. Portanto, com objetivo de caracterizá-la inicialmente, isto é, antes da semeadura e da instalação da malha experimental, em outubro de 2006 foi efetuado um levantamento do estado da fertilidade atual do solo e também das suas características

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

físicas. Desta forma, foram tomados vinte perfis de gradagem 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 quatro profundidades, foi destinado às análises químicas para fins de fertilidade (Quadro 1). Também foram coletadas 20 amostras de solo com estrutura indeformada para a caracterização física do solo (Quadro 2). As profundidades de coleta foram de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m e 0,30-0,40 m. No APÊNDICE A encontram-se as fotos explicativas da coleta dos dados, realizada para a caracterização inicial do experimento, cujos dados foram apresentados nos Quadros 1 e 2.

3.3. Implantação e condução da planta-teste pesquisada

A planta-teste pesquisada foi a soja (*Glycine max* - L. Merrill), semeada no dia 30 de novembro de 2006, após a dessecação das plantas daninhas com o herbicida glifosato, na dosagem de $1,8 \text{ kg ha}^{-1}$ do ingrediente ativo. A cultivar de soja semeada foi a Conquista, cujo cultivo foi conduzido segundo as instruções agrícolas para as principais culturas econômicas do Estado de São Paulo (FAHL et al., 1998), tendo-se por base as características físico-químicas estabelecidas nos Quadros 1 e 2. O espaçamento entre linhas foi de 0,45 m, com uma densidade final de 16 plantas por metro na linha de semeadura. Na adubação de semeadura foram utilizados 250 kg ha^{-1} da formulação 8-28-16. Para o tratamento das sementes foi utilizado o fungicida carboxin ($200 \text{ g ia } 100 \text{ kg}^{-1}$ de sementes) e o inoculante líquido (*Rhizobium* sp) contendo 3.10^9 células por grama de semente. O tratamento fitossanitário, realizado em diversas etapas, foi o seguinte: a) em 20/12/2006 foi aplicado o herbicida bentazon ($600 \text{ g do ia ha}^{-1}$); b) em 26/12/2006 foram aplicados o herbicida fenoxaprope-p-etílico (50 g ia ha^{-1}) e o inseticida cipermetrin (200 g ia ha^{-1}), c) em 28/01/2007 e em 15/02/2007 foram aplicados, em cada um dos dias, o fungicida tebuconazole (100 g ia ha^{-1}) e o inseticida endosulfan (525 g ia ha^{-1}). As fotos da implantação e da condução da planta-teste pesquisada encontram-se nos APÊNDICES B, C e D.

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. Para tanto, foi utilizado o nível ótimo comum, efetuando-se o estaqueamento global da malha experimental no final do ciclo da cultura da soja, no dia 14 de março de 2007. A grande malha experimental foi constituída de 6 linhas e 12 colunas, de formato retangular e contendo 72 pontos amostrais, espaçados de 8 em 8m em ambos

os eixos. Tais eixos, que foram as maiores transeções e contendo 16 pontos cada, tiveram 88 m, cuja hipotenusa foi de 96,66 m. Assim, a área global do estudo foi de 4608 m². Entretanto,

Quadro 1. Características químicas do solo antes da implantação do experimento.

Atributo químico												
Prof.	MO	pH CaCl ₂	P	Complexo sortivo					SB	CTC	V%	m %
				K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺				
m	g/dm ³		mg/dm ³	mmol _c /dm ³							----- % -----	
0,0 – 0,10	34	5,5	27	8,9	22	19	34	0	49,9	83,9	59	0
0,10 – 0,20	29	5,1	16	3,7	18	11	40	1	32,7	72,7	45	3
0,20 – 0,30	29	5,3	19	2,6	20	13	34	0	35,6	69,6	51	0
0,30 – 0,40	23	5,2	5	1,8	11	9	33	0	21,8	54,8	40	0

Quadro 2. Características físicas do solo antes da implantação do experimento.

Atributo físico ^(a)							
Profundidade	Porosidade				Resistência à penetração/umidade		
	MA	MI	PT	DS	RP	UG	UV
	-----m ³ /m ³ -----				kg/dm ³	MPa	kg/kg
m							
0,0 – 0,10	0,080	0,393	0,472	1,409	2,963	0,226	0,318
0,10 – 0,20	0,072	0,394	0,466	1,409	3,690	0,254	0,358
0,20 – 0,30	0,094	0,402	0,496	1,336	4,012	0,245	0,327
0,30 – 0,40	0,133	0,406	0,539	1,206	3,621	0,262	0,316

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

foram alocadas por sorteio, dentro da grande malha, mais 3 sub-malhas de refinamento da distância entre os pontos, visando detalhar o estudo da dependência espacial dos dados, para condições do espaçamento entre pontos menores do que 8m. Cada sub-malha teve pontos espaçados de 2,67 em 2,67 m. Com elas adicionaram mais 48 pontos amostrais, o total deles foi de 120. Os APÊNDICES E, F e G apresentam respectivamente a coleta dos atributos do solo, o esquema de campo da malha experimental e as coordenadas cartesianas dos pontos.

3.5. Coleta e metodologia de determinação dos atributos pesquisados

Os atributos pesquisados do solo e da planta foram todos individualmente coletados no entorno de cada ponto amostral da malha experimental. Os atributos do solo foram: a) macroporosidade (MA), b) microporosidade (MI), c) porosidade total (PT), d) densidade do solo (DS), e) resistência à penetração (RP), f) umidade gravimétrica (UG), e a g) umidade volumétrica (UV). Os da planta foram: a) produtividade de grãos (PG), b) massa de mil grãos (MM) e c) poder germinativo da semente (GS).

Os atributos do solo foram calculados em função de amostras coletadas no entorno da estaca que determinou o ponto amostral no campo. As amostras de solo, originadas de monólitos com estruturas indeformadas, foram para a DS e a UV. Para a UG foram com estrutura deformada, obtidas com o auxílio da sonda, cuja figura encontra-se no APÊNDICE E. Elas foram coletadas em duas profundidades, a saber: a) 0-0,10 m, e b) 0,10-0,20 m. Desta forma, a densidade do solo foi determinada pelo Método do Anel Volumétrico, relacionada em $[\text{kg dm}^{-3}]$, enquanto que a umidade gravimétrica foi determinada com balança analítica, com precisão de $\pm 0,005\text{g}$, relacionada em $[\text{kg kg}^{-1}]$. Para a macroporosidade $[\text{m}^3 \text{m}^{-3}]$, microporosidade $[\text{m}^3 \text{m}^{-3}]$ e a porosidade total $[\text{m}^3 \text{m}^{-3}]$ foi utilizado o Método da Mesa de Tensão. Todas foram determinadas conforme EMBRAPA (1997). A UV foi determinada pelo seguinte cálculo, relacionado em Kiehl (1979):

$$UV = UG \times DS \dots\dots\dots(01)$$

onde: **UV** é a umidade volumétrica $[\text{m}^3 \text{m}^{-3}]$, **UG** é a umidade gravimétrica $[\text{kg kg}^{-1}]$, e **DS** é a densidade do solo $[\text{kg dm}^{-3}]$. Os dados da RP foram obtidos com o penetrômetro de impactos (STOLF, 1991), calculados segundo a seguinte expressão contida em SOUZA et al. (2001):

$$RP = \{5,581 + 6,891 \times [N / (P - A) \times 10]\} \times 0,0981 \dots\dots\dots(02)$$

onde: **RP** é a resistência mecânica do solo à penetração $[\text{MPa}]$, **N** é o número de impactos efetuados com o martelo do penetrômetro para obtenção da leitura, **A** e **P** são,

respectivamente, as leituras antes e depois da realização dos impactos [cm]. Tais determinações foram efetuadas no Laboratório de Análises Físicas do Solo da Faculdade de Engenharia-FE/UNESP/Campus de Ilha Solteira.

Os atributos da planta também foram obtidos e calculados em função de amostras originadas no entorno do ponto amostral estaqueado. 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 m² (APÊNDICE D). Para massa de mil grãos (MM) aleatoriamente foram coletados 1000 grãos, pesando-os em seguida em balança analítica, na unidade [g], e a produtividade de grãos (PG) em [t ha⁻¹]. O poder germinativo (GS) da semente, dado em porcentagem, foi realizado com quatro sub-amostras de 50 sementes, depositadas em rolos de papel-toalha Germitest, à temperatura constante de 25°C, com o substrato umedecido com a quantidade de água equivalente a três vezes a massa do papel. As contagens foram feitas aos 5^o e 8^o dias após a semeadura, conforme Critérios da Regra para Análise de Sementes (BRASIL, 1992). Tais determinações foram efetuadas no Laboratório de Análises de Sementes da Faculdade de Engenharia-FE/UNESP/Campus de Ilha Solteira.

Considerando-se que o solo estudado foi estratificado em duas profundidades, a relação final dos dezessete atributos pesquisados foi a seguinte: a) camada de 0-0,10 m: MA1, MI1, PT1, DS1, RP1, UG1 e UV1. b) camada de 0,10-0,20 m: MA2, MI2, PT2, DS2, RP2, UG2 e UV2. Os da planta foram: PG, MM e GS. Em relação à época de coleta dos atributos (solo e planta) estudados, os do solo foram coletados em maio de 2007 e os da planta no dia da colheita em 21/03/2007. Os dados climatológicos médios da temperatura, umidade relativa e da precipitação pluviométrica durante o período de condução da pesquisa encontram-se graficamente no APÊNDICE H.

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 de Ilha Solteira (FE/UNESP). Ficou constituída na análise descritiva inicial, análise de correlação 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, pelo uso do SAS (SCHLOTZHAVER; LITTEL, 1997) para o cálculo da média, mediana, moda, erro padrão da média, valores mínimo e máximo, desvio

padrão, variância, coeficiente de variação, curtose e assimetria. Posteriormente, realizou-se a análise da distribuição de frequência dos atributos. Desta forma, para testar a hipótese de normalidade, ou de lognormalidade dos dados, foi utilizado 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 ($y = \log x$), 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 realizada, atributo por atributo, da seguinte forma, exclusivamente da análise descritiva fornecida pelo SAS. Primeiramente, foi identificada 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, foi confirmada a existência de tal *outlier* no gráfico de probabilidade normal. Nele, a presença dos referidos *outliers* é caracterizada pelo posicionamento distanciado da nuvem de pontos amostrais obtidos. Finalmente, a correção do *outlier* foi procedida pelo cálculo da média aritmética dos valores dos pontos circunvizinhos na malha de estudo, em substituição ao valor de tal *outlier*.

3.6.2. Análise de regressão

Foi montada a matriz de correlação, objetivando efetuar as correlações lineares simples para as combinações, duas a duas, entre 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. Também, conjuntamente para todas as camadas estudadas do solo, foi efetuada a regressão linear múltipla entre as variáveis dependentes da planta e as independentes do solo, objetivando selecionar aquelas que, nos devidos casos, proporcionariam 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, foi analisada a dependência espacial pelo cálculo do semivariograma, com base nos pressupostos de estacionaridade da hipótese intrínseca, com o pacote computacional *Gamma Design Software* (GS⁺, 2004). Foram ajustados semivariogramas simples a todos os atributos estudados, da planta (PG, MM e GS) e do solo (MA1, MA2, MI1, MI2, PT1, PT2, DS1, DS2, RP1, RP2, UG1, UG2, UV1 e UV2). Posteriormente, ajustaram-se semivariogramas 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. Por outro lado, para aqueles que não a apresentaram, isto é, na ausência de estacionaridade, retirou-se a tendência dos dados por meio da técnica do refinamento pela mediana, conforme Silva et al. (2003):

$$NV=VO-(ML+MC)+MG \dots\dots\dots(03)$$

onde: **NV** representa o novo valor residual do atributo; **VO** o valor original do atributo do qual foi retirada a tendência; **ML** e **MC**, respectivamente, representam os valores da mediana da linha e da coluna nas quais o atributo se encontrava, e **MG** representa a mediana geral dos atributos contidos na malha amostral. Desta forma, puderam-se recalcular os semivariogramas, com os resíduos obtidos deste procedimento, de forma a apresentar, agora, os atributos precedidos pelo símbolo #. Portanto, 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 (**r²**) 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 (**Co**), o alcance (**Ao**) e o patamar (**Co+C**). A análise do avaliador da dependência espacial (**ADE**) foi efetuada conforme a seguinte expressão (GS+, 2004):

$$ADE = [C/(C+Co)] \cdot 100 \dots\dots\dots(04)$$

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

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 da interpolação, os mapas de krigagem e de co-krigagem, para a análise da dependência e da interdependência espacial entre os atributos pesquisados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise descritiva dos dados

4.1.1. Variabilidade dos atributos estudados

4.1.1.1. Atributos da planta

No Quadro 3 está apresentada a análise descritiva dos atributos estudados. De acordo com Pimentel Gomes & Garcia (2002), a variabilidade de um atributo pode ser classificada segundo a magnitude de seu coeficiente de variação (CV). Suas classes foram determinadas como baixa ($CV \leq 10\%$), média ($10\% < CV \leq 20\%$), alta ($20\% < CV \leq 30\%$) e muito alta ($CV > 30\%$). Portanto, a produtividade de grãos (PG) apresentou média variabilidade, com coeficiente de variação de 14%. Assim, esse dado ficou acima daquele de Rosa Filho (2005), que foi de baixa variabilidade (7%), quando trabalhado com o mesmo solo e soja que o do presente estudo. Também, foi menor que o de Johann et al. (2004), que os obtiveram com alta variabilidade (23%), quando trabalharam com um Latossolo Bruno Distrófico de Cascavel (PR). Por outro lado, a massa de mil grãos (MM) e a germinação de sementes (GS) resultaram baixas variabilidades, respectivamente de 6 e 3%, de forma a concordar com Narimatsu (2004) para a MM, acontecendo o mesmo entre a GS e o pesquisado por Braccini et al. (2003).

4.1.1.2. Atributos do solo

A variabilidade da macroporosidade (MA) ficou entre muito alta para a MA1 (31%) e alta para a MA2 (27%). Tais dados concordaram com aqueles de Carvalho et al. (2002), Souza et al. (2004) e Secco et al. (2005), nos quais, ao trabalharem com Latossolos Vermelhos Distróficos, tais valores foram respectivamente de 26-36%, 39% e 25%. Contudo,

discordaram de Souza et al. (2001) e de Mesquita et al. (2003), nos quais, ao trabalharem respectivamente com um Latossolo Vermelho Distrófico e um Latossolo Vermelho-Amarelo, foram respectivamente de 14% e 20% (Quadro 3).

Quadro 3: Análise descritiva inicial de alguns atributos da produtividade de soja e de um Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).

Atributo ^(a)	Medidas estatísticas descritivas									Probabilidade do teste ^(b)	
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Pr<w		DF
			Mínimo	Máximo		Variação (%)	Curtose	Assimetria			
<i>Atributos da planta</i>											
PG (kg ha ⁻¹)	3317,5	3304,4	2408,2	4566,3	455,136	13,7	-0,408	0,018	0,486	NO	
MM (g)	148,9	149,1	129,1	171,8	8,439	5,7	-0,226	0,007	0,843	NO	
GS (%)	89,8	90,0	85,0	95,0	2,210	2,5	-0,702	0,120	0,008	IN	
<i>Macroporosidade</i>											
MA1 (m³ m ⁻³)	0,076	0,076	0,033	0,140	0,024	30,7	-0,310	0,336	0,067	NO	
MA2 (m³ m ⁻³)	0,079	0,076	0,035	0,143	0,021	26,7	0,420	0,673	0,095	NO	
<i>Microporosidade</i>											
MI1 (m³ m ⁻³)	0,403	0,404	0,363	0,434	0,015	3,7	0,033	-0,253	0,418	NO	
MI2 (m³ m ⁻³)	0,401	0,401	0,355	0,435	0,015	3,6	0,237	-0,383	0,160	NO	
<i>Porosidade total</i>											
PT1 (m³ m ⁻³)	0,479	0,479	0,405	0,549	0,021	4,4	1,198	-0,016	0,390	NO	
PT2 (m³ m ⁻³)	0,480	0,479	0,442	0,530	0,019	4,0	-0,635	0,218	0,124	NO	
<i>Densidade do solo</i>											
DS1 (kg dm ⁻³)	1,401	1,400	1,240	1,553	0,064	4,6	-0,503	-0,139	0,599	NO	
DS2 (kg dm ⁻³)	1,383	1,385	1,247	1,487	0,055	3,9	-0,608	-0,126	0,235	NO	
<i>Resistência à penetração</i>											
RP1 (MPa)	3,109	3,068	1,968	4,278	0,484	15,6	-0,202	0,103	0,579	NO	
RP2 (MPa)	3,603	3,572	2,227	5,054	0,515	14,3	0,226	0,040	0,892	NO	
<i>Umidade gravimétrica</i>											
UG1 (kg kg ⁻¹)	0,225	0,225	0,201	0,249	0,010	4,4	-0,177	0,280	0,272	NO	
UG2 (kg kg ⁻¹)	0,240	0,240	0,224	0,264	0,007	3,0	0,762	0,324	0,091	NO	
<i>Umidade volumétrica</i>											
UV1 (m³ m ⁻³)	0,315	0,317	0,272	0,356	0,019	6,1	-0,660	-0,103	0,289	NO	
UV2 (m³ m ⁻³)	0,332	0,333	0,299	0,375	0,015	4,5	-0,064	-0,054	0,539	NO	

^(a) PG = produtividade de grãos de soja; MM = massa de mil grãos; GS = germinação de sementes; MA, MI, PT, DS, RP, UG e UV, de 1 a 2, são respectivamente a macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, resistência à penetração, umidade gravimétrica e umidade volumétrica do solo;

^(b) DF = distribuição de frequência, sendo NO e IN respectivamente do tipo normal e indeterminada.

A resistência à penetração (RP) apresentou-se com média variabilidade em ambos os casos, sendo de 16 e 14% respectivamente em profundidade. Esses dados concordaram com aqueles de Mercante et al. (2003), Johann et al. (2004) e Freddi et al. (2006), respectivamente de 15% obtido num Latossolo Vermelho Distroférico, 16% num Latossolo Bruno Distrófico e de 14% num Latossolo Vermelho Distrófico. Contudo, discordaram de Imhoff et al. (2000), Souza et al. (2001, 2006), Carvalho et al. (2002) e Abreu et al. (2003), os quais variaram entre alto e muito alto, com valores respectivamente de 71% obtido num Nitossolo Vermelho Eutrófico, 21-38% num Latossolo Vermelho Distrófico, 51-110% também num Latossolo Vermelho Distrófico e de 28-83% num Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (Quadro 3).

Em relação à microporosidade (MI), porosidade total (PT), densidade do solo (DS), umidade gravimétrica (UG) e a umidade volumétrica (UV), todos apresentaram baixa variabilidade, com coeficientes de variação entre 3-6%. Tal maioria sugeriu que o sistema plantio direto causou a homogeneização do solo. Assim, tais dados concordaram com aqueles de Macedo et al. (1998), Imhoff et al. (2000), Souza et al. (2001), Carvalho et al. (2002), Mesquita et al. (2003), Johann et al. (2004), Secco et al. (2005) e Santos et al. (2006), os quais variaram entre 4-9%, quando respectivamente trabalharam com um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Nitossolo Vermelho Eutrófico, Latossolo Vermelho Distrófico, Latossolo Vermelho Distroférico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Latossolo Bruno Distrófico, Latossolo Vermelho Distrófico e Latossolo Vermelho Distroférico. Contudo, somente em relação à UG, tais dados discordaram apenas de Imhoff et al. (2000) e de Carvalho et al. (2002), nos quais foi média, respectivamente de 11 e 16% (Quadro 3).

4.1.2. Distribuição de frequência e valores médios dos atributos estudados

4.1.2.1. Distribuição de frequência dos atributos

Quando uma variável estatística qualquer possuir distribuição de frequência do tipo normal, a medida de tendência central mais adequada para representá-la deve ser a média. Em contrapartida, o será pela mediana, ou pela média geométrica, caso possua distribuição de frequência do tipo lognormal (SPIEGEL, 1985). Portanto, para todos os atributos estudados, com exceção apenas da germinação da semente (GS), que a apresentou como do tipo indeterminado, as respectivas medidas de tendência central deverão ser representadas pelos valores médios. Isso porque, todos eles apresentaram distribuição de frequência do tipo normal, com coeficientes de assimetria positiva entre 0,007 e 0,673, assim como a negativa

entre -0,383 e -0,016. Já os coeficientes de curtose positiva ficaram entre 0,033 e 1,198, assim como as negativas entre -0,702 e -0,064. Contudo, e independentemente de tais coeficientes, todos foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de normalidade de Shapiro & Wilk (1965), uma vez que a respectiva probabilidade variou entre 0,067 e 0,892 (Quadro 3). Dessa forma, a distribuição de frequência do tipo normal, obtida para a maioria dos atributos estudados pelo presente, ficou de acordo com os seguintes autores, classificados conforme o atributo: a) PG (SANTOS et al, 2005, MARINS, 2006, CARVALHO et al., 2006, FREDDI et al., 2006, SANTOS et al., 2006), b) MA (MESQUITA et al., 2003, SOUZA et al., 2004), c) MI (CARVALHO et al., 2003, MESQUITA et al., 2003, SOUZA et al., 2004), d) PT (CARVALHO et al., 2002, 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), f) RP (ABREU et al., 2003, MERCANTE et al., 2003, MARINS, 2006, SOUZA et al., 2006), g) UG (CARVALHO et al., 2006, FREDDI et al., 2006), e h) UV (MARINS, 2006).

4.1.2.2. Valores médios dos atributos

4.1.2.2.1. Atributo da planta

O valor médio da PG foi de 3317,5 kg ha⁻¹ (Quadro 3), ficando muito próximo daquele de Secco et al. (2004), que foi de 3373 kg ha⁻¹, quando utilizados seis cultivares de soja submetida a diferentes estados de compactação no sistema plantio direto. Portanto, no presente trabalho ele ficou 18,1% acima da média nacional, que foi de 2809 kg ha⁻¹ para a safra de 2006/07 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB, 2007). Por outro lado, o valor médio da MM (148,9 g) ficou semelhante ao valor médio (153,2 g) obtido para os tratamentos utilizados por Narimatsu (2004), os quais relatavam diferentes condições de compactação do solo. O valor médio da GS (89,8%) ficou acima dos padrões nacionais mínimos de qualidade de semente, que é de 80%, estabelecido para a cultura da soja (EMBRAPA, 2006b).

4.1.2.2.2. Atributos do solo

Os valores médios da MA (MA1 de 0,076 m³ m⁻³ e MA2 de 0,079 m³ m⁻³), MI (MI1 de 0,403 m³ m⁻³ e MI2 de 0,401 m³ m⁻³) e PT (PT1 de 0,479 m³ m⁻³ e PT2 de 0,480 m³ m⁻³), foram muito semelhantes em ambas as profundidades (Quadro 3). Eles também indicaram que as camadas estudadas encontravam-se compactadas, tornando-se um fator limitante para a máxima expressão da produtividade da soja, prejudicada tanto pelo deficiente crescimento radicular assim como pelas conseqüentes deficiências proporcionadas à absorção nutricional. Isso porque, seus valores ficaram aquém daqueles do solo considerado ideal, do ponto de vista

agronômico, que é o que apresenta $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de porosidade total, com $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de microporosidade, que é responsável pelo armazenamento de água, assim como com $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de macroporosidade, responsável pela aeração do solo, conforme preceitos de Kiehl (1979).

Oliveira e Moniz (1975) efetuaram o levantamento pedológico detalhado dos solos da Estação Experimental do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, localizada em Ribeirão Preto. Dessa forma, foram relatados, para um Latossolo Vermelho Distroférico e nas condições de solo virgem sob mata natural, valores da porosidade total e da densidade do solo originados da secção de controle do perfil do solo, respectivamente entre 0,582 a 0,671 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ e de 0,98 e 1,13 kg dm^{-3} . Portanto, com base nessa caracterização, para a densidade do solo (Quadro 3), os valores médios que foram de 1,401 kg dm^{-3} (DS1) e de 1,383 kg dm^{-3} (DS2), também apresentaram uma magnitude que indicou a presença de compactação do solo nas camadas estudadas, uma vez que seu menor valor foi 0,253 kg dm^{-3} (1,22 vezes) superior ao maior valor da densidade encontrada naquele latossolo, semelhante ao do presente estudo. Por outro lado, no sistema plantio direto tal compactação é originada pelo trânsito das máquinas e implementos agrícolas, assim como ao tempo de adoção deste sistema, sem que, contudo, seja efetuada uma prática conservacionista do solo que venha a reverter esse problema (ASSIS, 2002). Dessa forma, tais dados ficaram de acordo com aqueles da pesquisa de Secco et al. (2004), que encontraram valores de densidade do solo semelhantes e/ou superiores a 1,45 kg dm^{-3} , também para um Latossolo Vermelho Distroférico.

Bengough et al. (2001) relataram que a condição ideal de umidade do solo, para a coleta dos dados de resistência à penetração, deve ser quando ela estiver variando entre a capacidade de campo e até com um terço a menos de água, isto é, quando o solo ideal, conceituado por Kiehl (1979), apresentar uma umidade volumétrica na microporosidade variando entre 0,33 e 0,22 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$. Portanto, uma vez que a capacidade de campo do solo em questão, determinada por Martins (2002), foi de 0,351 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$, deve-se salientar que os dados da presente pesquisa foram coletados em ótimas condições de umidade volumétrica do solo, uma vez que seus valores ficaram entre 0,315 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ (RP1) e 0,332 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ (RP2). Por outro lado, quando utilizada a classificação de Arshad et al. (1996), os altos valores da resistência à penetração do solo (3,109 e 3,603 MPa, respectivamente para RP1 e RP2) corroboraram que o solo estudado encontrava-se compactado, de forma a suscitar que a produtividade de soja do presente estudo pôde também não ter atingido seu máximo potencial, uma vez que pôde ter ocorrido um alto impedimento mecânico ao desenvolvimento de suas raízes (Quadro 3).

Beutler et al. (2006) analisaram a produtividade da cultura da soja (cv. Conquista) em função do grau de compactação de um Latossolo Vermelho Distrófico de Jaboticabal (SP). Foi observada a baixa produtividade de 1326 kg ha^{-1} , equivalente a um valor da resistência à penetração do solo de 2,95 MPa, devido a ocorrência de ferrugem asiática e à baixa emergência das plântulas. Por outro lado, Beutler et al. (2007) também analisaram a produtividade da cultura da soja (cv. IAC Foscárim 31) em função do grau de compactação de um Latossolo Vermelho Eutroférico de Jaboticabal (SP), onde foi constatada uma produtividade máxima de 3175 kg ha^{-1} , equivalente a um valor da resistência à penetração do solo de 1,30 MPa, assim como de 3261 kg ha^{-1} , equivalente ao valor da densidade do solo de $1,26 \text{ kg dm}^{-3}$. Portanto, em relação aos dois referidos trabalhos, os dados da PG, RP e da DS do presente estudo (Quadro 3) tiveram as seguintes performances. A PG média obtida (3318 kg ha^{-1}) foi 2,5 vezes superior àquela de Beutler et al. (2006), assim como 1,02 vezes superior àquela de Beutler et al. (2007). Já a RP média obtida (3,386 MPa) foi 1,15 vezes superior àquela de Beutler et al. (2006), assim como 2,60 vezes superior àquela de Beutler et al. (2007). Também, a DS média obtida ($1,392 \text{ kg dm}^{-3}$) foi 1,11 vezes superior àquela de Beutler et al. (2007). Portanto, na presente pesquisa, obteve-se uma PG média de grãos de soja superior àsquelas de Beutler et al. (2006, 2007), em condições físicas do solo mais severas. Assim, uma vez que o solo pesquisado encontrava-se substancialmente mais compactado do que nas duas referidas condições, pode-se inferir que outros fatores, que não a RP e a DS, limitaram de forma decisiva as produtividades de soja obtidas por Beutler et al. (2006, 2007).

A umidade gravimétrica (Quadro 3) apresentou valores de $0,225 \text{ kg kg}^{-1}$ (UG1) e de $0,240 \text{ kg kg}^{-1}$ (UG2), concordando com os estudos de Carvalho et al. (2002) e Freddi et al. (2006), que apresentaram aumento destes valores em profundidade do solo. Por outro lado, ficou diretamente relacionada com o aumento da UV, as quais foram de $0,315 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (UV1) e de $0,332 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (UV2).

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, MM e GS) e do solo (MA, MI, PT, DS, RP, UG e UV).

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 GS ($r = 0,570^{**}$), PG x MM ($r = 0,429^{**}$) e o GS x MM ($r = 0,287^{**}$),

havendo, em todos os casos, uma correlação direta entre eles. O par PG x GS foi aquele de maior coeficiente de correlação, portanto, de elevado interesse agrícola. Entretanto, para

Quadro 4: Matriz de correlação linear simples entre a produtividade de grãos de soja e alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).

Atributo ^(a)	Coeficiente de correlação ^(b)															
	PG	MM	GS	MA1	MA2	MI1	MI2	PT1	PT2	DS1	DS2	RP1	RP2	UG1	UG2	UV1
MM	0,429**															
GS	0,570**	0,287**														
MA1	0,106	-0,004	0,012													
MA2	0,183*	0,012	0,148	0,264**												
MI1	-0,068	0,077	0,019	-0,584**	-0,175											
MI2	-0,099	0,071	-0,072	-0,333**	-0,451**	0,579**										
PT1	0,153	0,156	0,032	0,682**	0,189*	0,013	0,057									
PT2	0,175	0,059	0,130	0,035	0,771**	0,222*	0,109	0,231*								
DS1	-0,101	-0,004	0,027	-0,809**	-0,138	0,340**	0,086	-0,735**	-0,092							
DS2	-0,213*	-0,036	-0,176	-0,145	-0,741**	0,064	0,309**	-0,159	-0,678**	0,258**						
RP1	-0,005	-0,189*	0,074	-0,151	-0,112	-0,043	-0,054	-0,273**	-0,200*	0,295**	0,275**					
RP2	-0,191*	-0,119	-0,089	-0,102	-0,225*	-0,008	0,071	-0,151	-0,257**	0,152	0,338**	0,344**				
UG1	0,057	0,252**	0,135	0,034	-0,043	0,013	-0,045	0,130	-0,124	-0,077	0,002	-0,185*	-0,078			
UG2	0,102	0,252**	0,079	0,151	0,011	-0,209*	-0,160	0,116	-0,112	-0,211*	-0,184*	-0,286**	-0,194*	0,607**		
UV1	-0,045	0,176	0,115	-0,576**	-0,139	0,271**	0,028	-0,476**	-0,165	0,695**	0,206*	0,092	0,065	0,660**	0,272**	
UV2	-0,123	0,135	-0,106	-0,032	-0,645**	-0,076	0,169	-0,062	-0,669**	0,092	0,761**	0,054	0,166	0,399**	0,497**	0,361**

^(a) PG = produtividade de grãos; MM = massa de mil grãos; GS = germinação de sementes; MA, MI, PT, DS, RP, UG e UV, de 1 a 2, são respectivamente a macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, resistência à penetração, umidade gravimétrica e umidade volumétrica do solo; ^(b) ** significativo a 1%, * significativo a 5%

explicar tal comportamento deve-se relegar a um segundo plano, exclusiva e momentaneamente para esse propósito, a correlação direta entre o par PG x MM. Por outro lado, a correlação significativa entre o par GS x MM permitiu inferir que com o aumento da quantidade de reservas nas sementes (MM) ocorreu o mesmo com o respectivo poder germinativo (GS). Assim sendo, é plausível a interpretação, por meio da correlação PG x GS, de que em virtude do aumento da PG, que é função direta da MM, haveria condições para formação de sementes mais densas e, portanto, mais vigorosas, que proporcionariam maior germinação. Tal fato foi amplamente detalhado por Carvalho e Nakagawa (2000), quando argumentaram que as sementes mais densas são as que normalmente apresentam embriões mais bem formados, com maior quantidade de reservas, sendo, portanto, as mais vigorosas e que proporcionam um maior poder germinativo.

4.2.1.1.2 Atributos da planta *versus* atributos do solo

A correlação entre a PG e os atributos do solo (Quadro 4) apresentou significância exclusivamente para os pares: 1) PG x MA2 ($r = 0,183^*$), 2) PG x DS2 ($r = -0,213^*$) e 3) PG x RP2 ($r = -0,191^*$). No primeiro par foi verificada uma correlação direta, indicando que quando há aumento da MA2 há uma tendência ao aumento da PG. Tal fato apresentou-se de forma teoricamente coerente, uma vez que, no Quadro 3, o valor médio da MA2 foi de $0,079 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sendo próximo do limite crítico de $0,100 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ indicado por Khier (1979). Assim, o aumento da macroporosidade, nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m do solo em questão, poderá proporcionar uma melhor aeração ao sistema radicular, implicando no aumento da PG. Tal fato ficou de acordo com o observado por Lima et al. (2007), os quais obtiveram uma correlação direta e significativa ($r = 0,199^{**}$) entre a produtividade de massa seca da forragem do milho safrinha e a porosidade total de um Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto (SP).

Por outro lado, para os segundo e o terceiro pares, respectivamente dados por PG x DS2 e PG x RP2 (Quadro 4), suas correlações foram inversas, indicando que com aumento da DS2 e da RP2 ocorrerá a diminuição da produtividade de soja, provavelmente desencadeada pela menor respiração radicular que a compactação do solo proporcionou. Portanto, em relação à DS, esse fato ficou de acordo com os trabalhos de Santos et al. (2006) e de Lima et al. (2007), os quais, respectivamente trabalhando com a produtividade de grãos de milho (Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria, MS) e a produtividade de massa seca da forragem do milho safrinha (Latossolo Vermelho Distrófico de Pereira Barreto, SP), obtiveram correlações inversas e significativas com a densidade do solo, respectivamente de $-0,212^*$ e $-0,143^*$. Já em relação à RP, esse fato também ficou de acordo com os dados de

Freddi et al. (2006), os quais, trabalhando com a produtividade de grãos de milho (Latossolo Vermelho Distrófico de Selvíria, MS), obtiveram uma correlação inversa e significativa com a resistência à penetração ($r = -0,170^*$).

No Quadro 4, as correlações entre a MM e os atributos do solo apresentaram significâncias entre os pares MM x RP1 ($r = -0,189^*$), MM x UG1 ($r = 0,252^{**}$) e o MM x UG2 ($r = 0,252^{**}$). A correlação inversa do par MM x RP1 evidenciou que com o aumento da RP ocorrerá uma diminuição da MM, proporcionada pelo aumento da compactação do solo na camada de 0-0,10 m de profundidade e, portanto, pelas condições adversas à absorção radicular. As correlações diretas entre os pares MM x UG1 e MM x UG2 permitiram inferir que com o aumento do teor de água do solo (UG) ocorrerá o mesmo com a massa de mil grãos (MM). Analisando exclusivamente do ponto de vista fisiológico, com a umidade do solo estabelecida nas condições ideais à planta haveria melhores condições para a translocação de assimilados às suas sementes, sobretudo nos estádios fenológicos de sua maturação, dada entre o R6 e o R7, conforme evidenciado por Câmara (2000).

4.2.1.1.3. Atributos do solo *versus* atributos solo

No geral, as correlações entre os pares de atributos do solo (Quadro 4) apresentaram-se, quando analisados dois atributos quaisquer dentro da mesma profundidade, com o sinal positivo (correlação direta) ou negativo (correlação indireta) para todas aquelas estabelecidas nas duas profundidades. Os de correlação direta, com os respectivos valores do coeficiente de correlação, foram o MA x PT ($0,771^{**}$ a $0,189^*$), MI x PT ($0,222^*$), MI x DS ($0,340^{**}$ a $0,309^{**}$), MI x UV ($0,271^{**}$), DS x RP ($0,338^{**}$ a $0,275^{**}$), DS x UV ($0,761^{**}$ a $0,206^*$) e UG x UV ($0,660^{**}$ a $0,272^{**}$). Já os de correlação indireta foram o MA x MI ($-0,584^{**}$ a $-0,333^{**}$), MA x DS ($-0,809^{**}$ a $-0,741^{**}$), MA x RP ($-0,225^*$), MA x UV ($-0,645^{**}$ a $-0,576^{**}$), MI x UG ($-0,209^*$), PT x DS ($-0,735^{**}$ a $-0,678^{**}$), PT x RP ($-0,273^{**}$ a $-0,200^*$), PT x UV ($-0,669^{**}$ a $-0,476^{**}$), DS x UG ($-0,211^*$ a $-0,184^*$) e RP x UG ($-0,286^{**}$ a $-0,185^*$). Ainda que a literatura sobre esse assunto seja escassa, para o caso da PT x DS, os dados do presente trabalho ($-0,735^{**}$ a $-0,678^{**}$) ficaram de acordo com aqueles dos trabalhos de Argenton et al. (2005) e Santos et al. (2006), os quais trabalhando com a produtividade de grãos de milho num Latossolo Vermelho Distroférrico, respectivamente de Chapecó (SC) e de Selvíria (MS), obtiveram correlações inversas e significativas entre tais atributos, respectivamente de $-0,884^{**}$ e $-0,990^{**}$.

No Quadro 4, o par RP x UG apresentou correlação inversa entre seus atributos, corroborando a teoria pedológica sobre esse fato. Assim, com o aumento da UG ocorrerá uma diminuição da RP, e vice-versa. Tal fato concordou com aquele de Santos et al. (2005), os

quais, trabalhando com a produtividade de grãos de feijão num Latossolo Vermelho Distrófico de Selvíria (MS), também obtiveram correlação inversa entre eles ($r = -0,351^{**}$ a $-0,208^{*}$). Entretanto, discordou daquele de Carvalho et al. (2006), os quais, também trabalhando com a produtividade de grãos de feijão num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS), obtiveram correlação direta entre eles ($r = 0,161^{*}$ a $0,171^{*}$). Uma vez que esses últimos autores discordaram da teoria pedológica sobre tal assunto, esse fato pôde ser justificado pelo curto espaço de tempo no qual o sistema plantio direto estava sendo empregado.

Os pares MA x MI e o MI x PT apresentaram correlações significativas, sendo respectivamente de forma inversa e direta entre seus atributos (Quadro 4). Tais fatos ficaram plenamente de acordo com aqueles de Argenton et al. (2005), os quais, trabalhando com a produtividade de grãos de milho num Latossolo Vermelho Distroférrico de Chapecó (SC), obtiveram respectivamente as correlações de $r = -0,370^{*}$ e de $r = 0,180^{*}$.

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, planta *versus* solo e solo *versus* solo, estão apresentadas no Quadro 5 e nas Figuras 1, 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 atributos da planta *versus* planta (Quadro 5), a equação de regressão da PG em função da MM foi representada por um modelo quadrático (Eq. 6; Fig. 1b), com um baixo, entretanto significativo, coeficiente de determinação igual a $0,222^{**}$. Seu baixo valor foi dado pelo elevado número de observações utilizado na presente pesquisa ($n=120$). Portanto, a variabilidade da produtividade de grãos de soja (PG) em questão pôde ser explicada por apenas 22,2 % da variabilidade dos dados da massa de mil grãos (MM). Dessa forma, quando a MM variar entre 129 a 161 g, a PG aumentará de 2553 a 3542 kg ha⁻¹, na fase ascendente da função. Contudo, ela decairá, a partir de 161g até o valor máximo da MM de 172g, isto é, na fase descendente da função, para valores entre 3542 e 3427 kg ha⁻¹. Portanto, no ponto de máximo da função (Eq. 6), a MM e a PG equivaleram, respectivamente, à 161 g e 3542 kg ha⁻¹, o que resultaria na observação de que seria inconveniente ter uma MM superior a cifra de 161 g. Já quando tomado o valor médio de 148,9 g da MM, poderá ser estimada a PG média de 3385 kg ha⁻¹. Por outro lado, os modelos matemáticos da $PG=f(GS)$ e da $GS=f(MM)$ apresentaram funções crescentes entre causa e efeito (Fig. 1a,c). Desta forma,

Quadro 5: Equação de regressão linear simples e coeficientes do ajuste entre atributos da produtividade de soja e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).

Modelo matemático ^(a)	Coeficiente de ajuste ^(b)					Número da equação
	a	b	c	r	r ²	
<i>Planta x planta</i>						
PG = a + b . GS	-7,230.10 ³	1,175.10 ^{2**}	-	0,570**	-	(5)
PG = a + b . MM + c . MM ²	-2,146.10 ³	3,105.10 ^{2**}	-9,647.10 ^{-1*}	-	0,222**	(6)
GS = a . MM ^b	4,802.10 ¹	1,251.10 ^{-1**}	-	0,289**	-	(7)
<i>Planta x solo</i>						
MM = a . UG1 ^b	2,418.10 ²	3,253.10 ^{-1**}	-	0,255**	-	(8)
MM = a + b . UG2 + c . UG2 ²	-1,010.10 ³	9,308.10 ^{3*}	-1,865.10 ^{4*}	-	0,096**	(9)
PG = a + b . MA2	3,006.10 ³	3,948. 10 ^{3*}	-	0,183*	-	(10)
PG = a + RP2 ^b	4,178.10 ³	-1,889.10 ^{-1*}	-	-0,198*	-	(11)
PG = a + b . DS2	5,768.10 ³	-1,771.10 ^{3*}	-	-0,213*	-	(12)
<i>Solo x solo</i>						
MA1 = a . exp ^{DS1.b}	2,221.10 ¹	-4,087**	-	-0,810**	-	(13)
MA2 = a . exp ^{DS2.b}	1,121.10 ¹	-3,609**	-	-0,712**	-	(14)
PT1 = a + b . DS1	8,139.10 ⁻¹	-2,430.10 ^{-1**}	-	-0,735**	-	(15)
UV2 = a . DS2 ^b	2,511.10 ⁻¹	8,640.10 ^{-1**}	-	0,765**	-	(16)

^(a)PG = produtividade de grãos; MM = massa de mil grãos; GS = germinação de sementes; MA, PT, DS, RP e UV, de 1 a 2, são respectivamente a macroporosidade, porosidade total, densidade do solo, resistência à penetração e umidade volumétrica do solo; ^(b) ** significativo a 1%, * significativo a 5%.

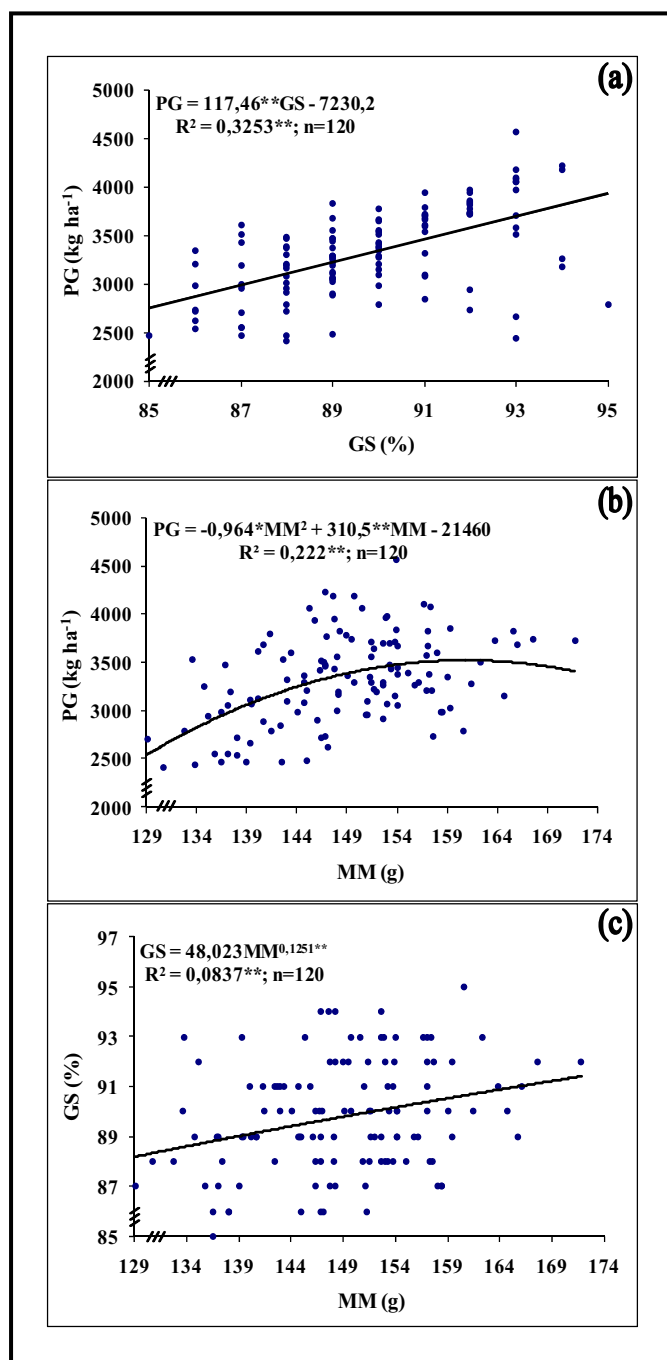


Figura 1: Equações de regressão entre atributos da cultura da soja num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).

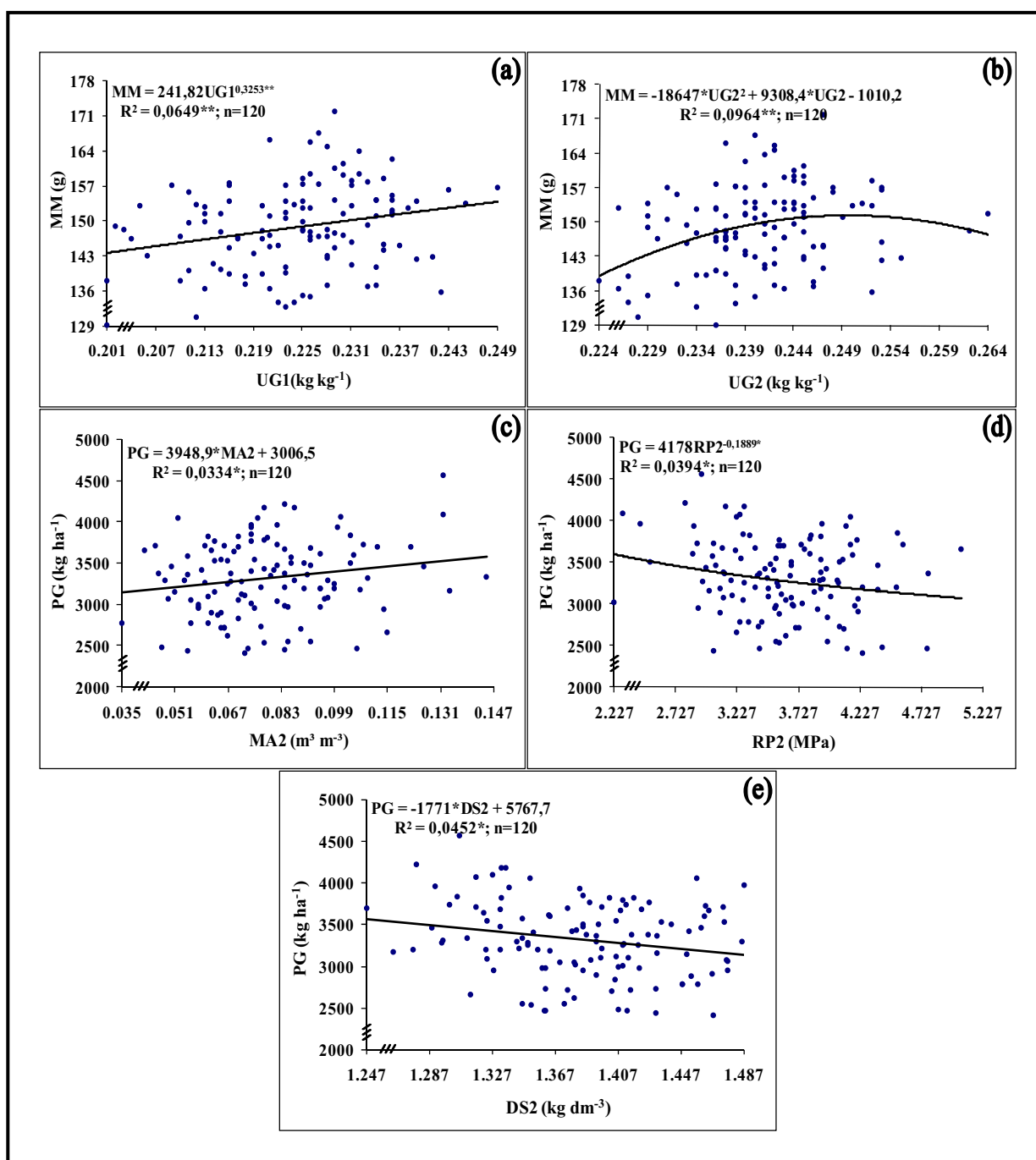


Figura 2: Equações de regressão entre atributos da cultura da soja com alguns atributos de um Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).

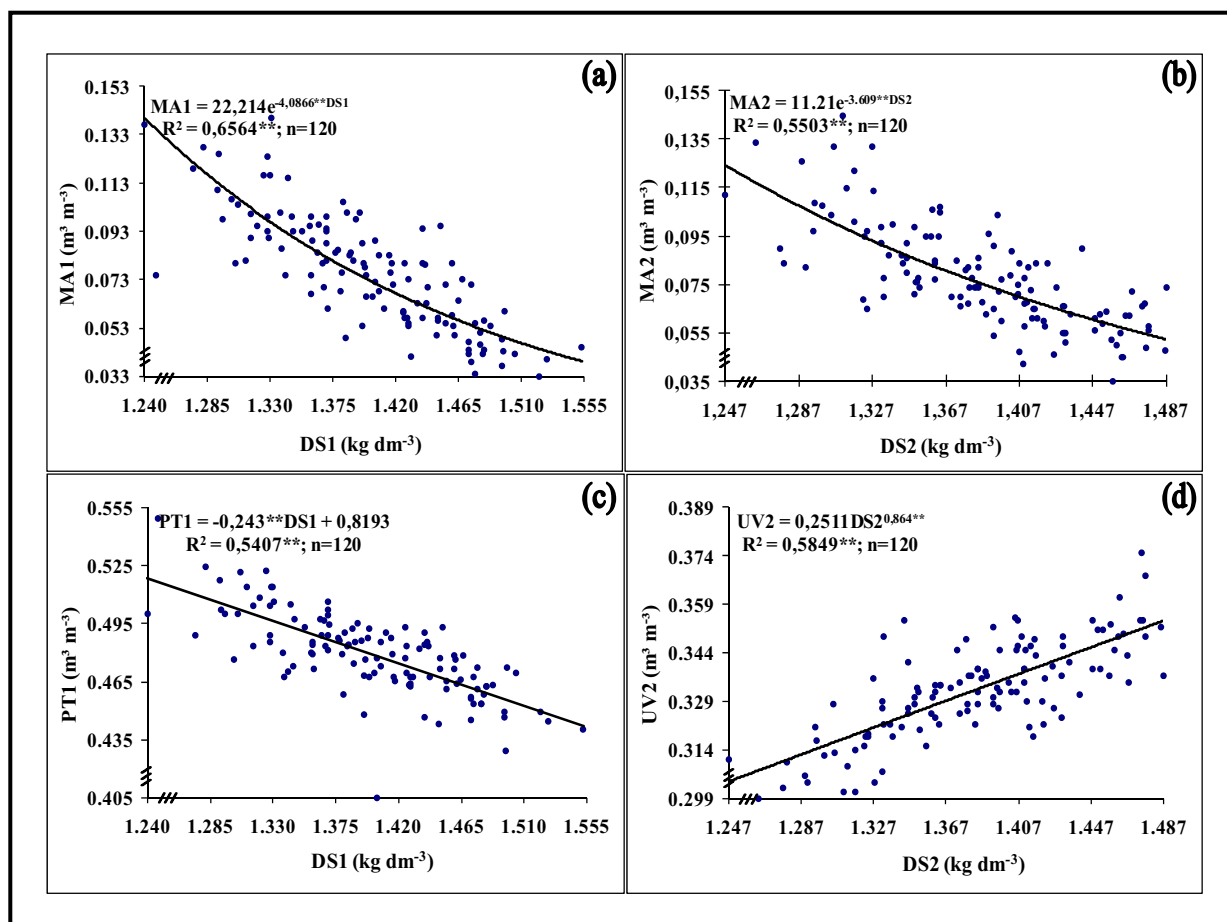


Figura 3: Equações de regressão entre atributos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).

a PG variou linearmente com a GS ($r = 0,570^{**}$), assim como, a GS foi potencialmente variável com a MM ($r = 0,289^{**}$). No âmbito da correlação entre atributos da planta *versus* solo (Quadro 5), os modelos matemáticos $MM=f(UG1)$ e $MM=f(UG2)$, respectivamente representados na Figura 2a,b, apresentaram uma relação potencial direta para o primeiro, assim como, uma relação quadrática para o segundo. Já com relação aos modelos $PG = (MA2, RP2, DS2)$; Figura 2c,d,e), o primeiro [$PG = f(MA2)$] apresentou uma relação linear crescente entre causa e efeito. Desta forma, para o menor valor da MA2 ($0,035 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) ocorrerá um valor estimado da PG igual a 3145 kg ha^{-1} , assim como, para o maior ($0,143 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), de 3571 kg ha^{-1} . Portanto, se a MA2 assumir o valor teórico de $0,170 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, preconizado como ideal por Kiehl (1979), a PG correspondente seria 3679 kg ha^{-1} , ficando 31 % superior à média nacional (2809 kg ha^{-1}) citada pela CONAB (2007). Outrossim, se igual a $0,200 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, de 3797 kg ha^{-1} (35 % superior à referida média). Já o segundo e o terceiro modelos, respectivamente dados pela $PG = f(RP2)$ e o $PG = f(DS2)$, apresentaram-se com uma variação indireta entre causa e efeito, respectivamente do tipo potencial e linear, com coeficientes de correlação entre $-0,198^*$ e $-0,213^*$. Tais modelos diferiram do modelo quadrático obtido por Beutler et al. (2006, 2007), quando pesquisaram a produtividade da soja em função da DS e da RP, em dois latossolos distintos de Jaboticabal (SP). Especificamente em relação ao modelo $PG = f(DS2)$, que entre todos os atributos do solo apresentou a maior correlação com a PG (Eq. 11), para o menor valor da DS2 ($1,247 \text{ kg dm}^{-3}$) a PG estimada será de 3560 kg ha^{-1} , assim como, para o maior ($1,487 \text{ kg dm}^{-3}$), de 3135 kg ha^{-1} . Dessa forma, quando do ponto de vista da análise de regressão $PG = (\text{atributos do solo})$, o DS2 apresentou-se como um plausível indicador da qualidade física do solo estudado.

No âmbito da correlação entre atributos do solo *versus* solo foi verificado o seguinte:

a) a MA1 apresentou uma variação exponencial indireta com a DS1 (Quadro 5, Fig. 3a). Portanto, quando ocorrer o mínimo valor da DS1 ($1,240 \text{ kg dm}^{-3}$) implicará num valor máximo estimado da MA1 igual a $0,140 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Assim, para o máximo ($1,553 \text{ kg dm}^{-3}$), o valor mínimo da MA1 será de $0,039 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. A tendência inversa dessas variáveis concordou com os dados obtidos por Secco et al. (2004) e por Argenton et al. (2005), nos quais as equações de regressão obtidas foram do tipo linear, com coeficientes de correlação respectivamente de $-0,90^{**}$ e $-0,85^{**}$. Também, quando a DS1 exceder $1,322 \text{ kg dm}^{-3}$, os valores da MA1 serão menores do que $0,100 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, preconizado como ideal às plantas (KIEHL, 1979), causando, portanto, uma sensível diminuição da respiração celular na camada de 0-0,10 m do solo, assim como a respectiva parcela de diminuição da PG; b) a MA2 também apresentou uma variação exponencial indireta com a DS2 (Quadro 5, Fig. 3b). Assim

também, quando a DS2 exceder $1,307 \text{ kg dm}^{-3}$, os valores de MA2 serão menores do que o ideal de $0,100 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, causando também a diminuição da PG. Dessa forma, quando a DS2 assumir valores maiores do que $1,307 \text{ kg dm}^{-3}$, a macroporosidade dessa camada (MA2) será menor do que o valor ideal de $0,100 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, implicando no valor limite da PG de 3453 kg ha^{-1} . Portanto, com o aumento da compactação desta camada, ocorrerá severa diminuição da produtividade de grãos de soja (PG), devido às restrições impostas ao crescimento e desenvolvimento do seu sistema radicular; c) a PT1 apresentou uma variação linear indireta com a DS1 (Quadro 5, Fig. 3c). Portanto, quando ocorrer o mínimo valor da DS1 ($1,240 \text{ kg dm}^{-3}$) implicará num valor máximo estimado da PT1 igual a $0,513 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Por outro lado, para o máximo ($1,553 \text{ kg dm}^{-3}$), o valor mínimo da PT1 será de $0,442 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, e d) a UV2 apresentou uma variação potencial direta com a DS2 (Quadro 5, Fig. 3d). Portanto, quando ocorrer o mínimo valor da DS2 ($1,247 \text{ kg dm}^{-3}$) implicará também no mínimo estimado da UV2, igual a $0,304 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Por outro lado, para o máximo ($1,487 \text{ kg dm}^{-3}$), tal valor da PT1 será de $0,354 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

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.

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 a produtividade da soja e de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS). Já nas Figuras de 4, 5 e 6 foram apresentados seus respectivos semivariogramas. Assim, ficou atestado que, com exceção da MA1, MI1, MI2, PT1, DS1, RP2 e UG2, que apresentaram efeito pepita puro, todos os demais atributos apresentaram 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) DS2 (0,959), 2) RP1 (0,930), 3) PG (0,879), 4) MM (0,877), 5) UG1 (0,837), 6) UV1 (0,816), 7) PT2 (0,786), 8) GS (0,776), 9) MA2 (0,538) e 10) UV2 (0,466). Assim, em relação aos três primeiros, que tiveram elevados coeficientes de determinação espacial, observou-se o seguinte. Para o primeiro (DS2), o valor do r^2 do DS2 (0,959), que indicou ser tal atributo o de melhor ajuste semivariográfico, concordou com aqueles observados por Santos et al.

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

Parâmetros								
Atributo ^(a)	Modelo ^(b)	Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ +C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	Avaliador da dependência espacial	
							ADE ^(d)	Classe
<i>γ(h) simples dos atributos da planta</i>								
PG (kg ha ⁻¹)	esf	7,010.10 ⁴	1,546.10 ⁵	19,7	0,879	8,98.10 ⁸	54,7	moderada
MM (g)	esf	2,090.10 ¹	5,989.10 ¹	20,6	0,877	1,940.10 ²	65,1	moderada
GS (%)	exp	2,046	4,093	20,0	0,776	0,546	50,0	moderada
<i>γ(h) simples dos atributos do solo</i>								
MA1 (m ³ m ⁻³)	epp	5,610.10 ⁻⁴	5,610.10 ⁻⁴	-	-	-	-	-
MA2 (m ³ m ⁻³)	esf	1,700.10 ⁻⁴	2,968.10 ⁻⁴	8,5	0,538	5,663.10 ⁻⁹	42,7	moderada
MI1 (m ³ m ⁻³)	epp	2,170.10 ⁻⁴	2,170.10 ⁻⁴	-	-	-	-	-
MI2 (m ³ m ⁻³)	epp	2,190.10 ⁻⁴	2,190.10 ⁻⁴	-	-	-	-	-
PT1 (m ³ m ⁻³)	epp	4,680.10 ⁻⁴	4,680.10 ⁻⁴	-	-	-	-	-
PT2 (m ³ m ⁻³)	gau	1,200.10 ⁻⁴	3,400.10 ⁻⁴	7,0	0,786	4,379.10 ⁻⁹	64,7	moderada
DS1 (kg dm ⁻³)	epp	4,067.10 ⁻³	4,067.10 ⁻³	-	-	-	-	-
DS2 (kg dm ⁻³)	gau	1,323.10 ⁻³	2,400.10 ⁻³	9,0	0,959	3,122.10 ⁻⁸	44,9	moderada
RP1 (MPa)	esf	8,530.10 ⁻²	2,126.10 ⁻⁴	11,5	0,930	5,138.10 ⁻⁴	60,1	moderada
RP2 (MPa)	epp	2,590.10 ⁻¹	2,590.10 ⁻¹	-	-	-	-	-
UG1 (kg kg ⁻¹)	esf	3,600.10 ⁻⁵	9,110.10 ⁻⁵	12,5	0,837	2,974.10 ⁻¹⁰	60,5	moderada
UG2 (kg kg ⁻¹)	epp	2,900.10 ⁻⁵	2,900.10 ⁻⁵	-	-	-	-	-
UV1 (m ³ m ⁻³)	exp	1,070.10 ⁻⁴	3,160.10 ⁻⁴	13,0	0,816	2,922.10 ⁻⁹	66,1	moderada
UV2 (m ³ m ⁻³)	gau	1,133.10 ⁻⁴	1,900.10 ⁻⁴	7,1	0,466	2,569.10 ⁻⁹	40,4	moderada

^(a)PG = produtividade de grãos de soja, MM = massa de mil grãos, GS = germinação de sementes, MA = macroporosidade, MI = microporosidade, PT = porosidade total, DS = densidade do solo, RP = resistência mecânica à penetração, UG = umidade gravimétrica e UV = umidade volumétrica; ^(b) exp = exponencial, gau = gaussiano, esf = esférico e epp = efeito pepita puro; ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) ADE = avaliador da dependência espacial.

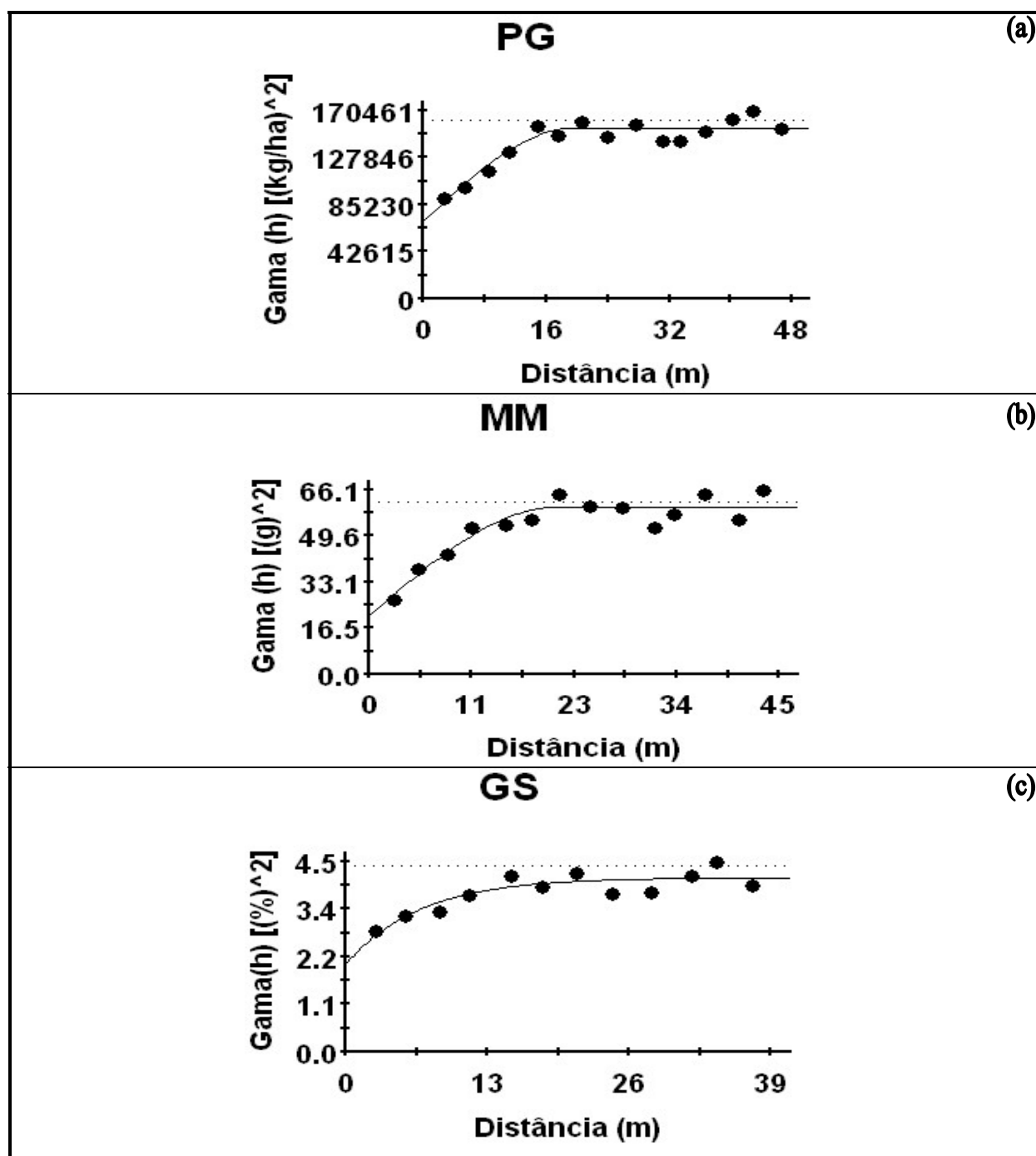


Figura 4: Semivariogramas simples dos atributos (PG, MM e GS) da produtividade da soja num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).

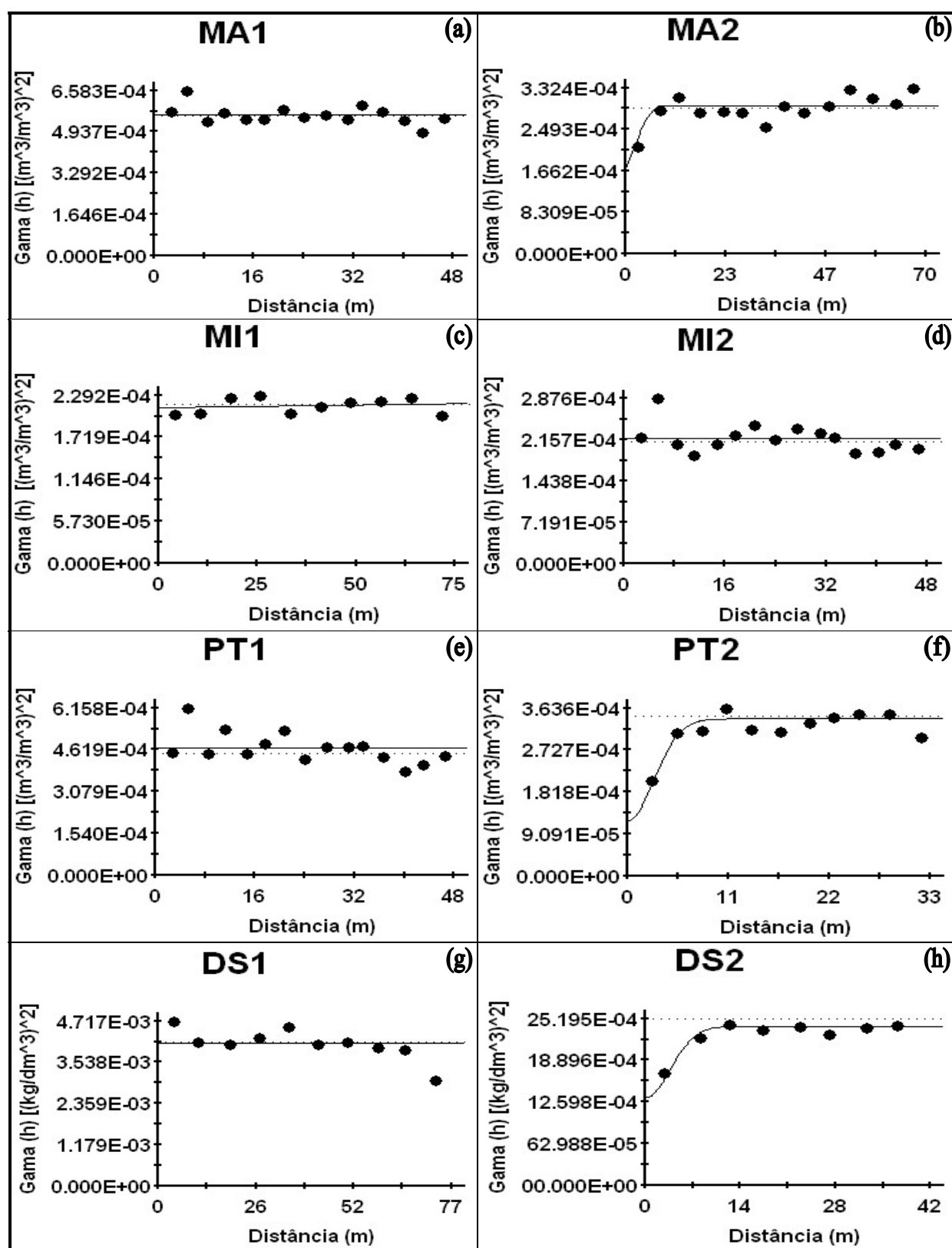


Figura 5: Semivariogramas simples dos atributos (MA1, MA2, MI1, MI2, PT1, PT2, DS1 e DS2) num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).

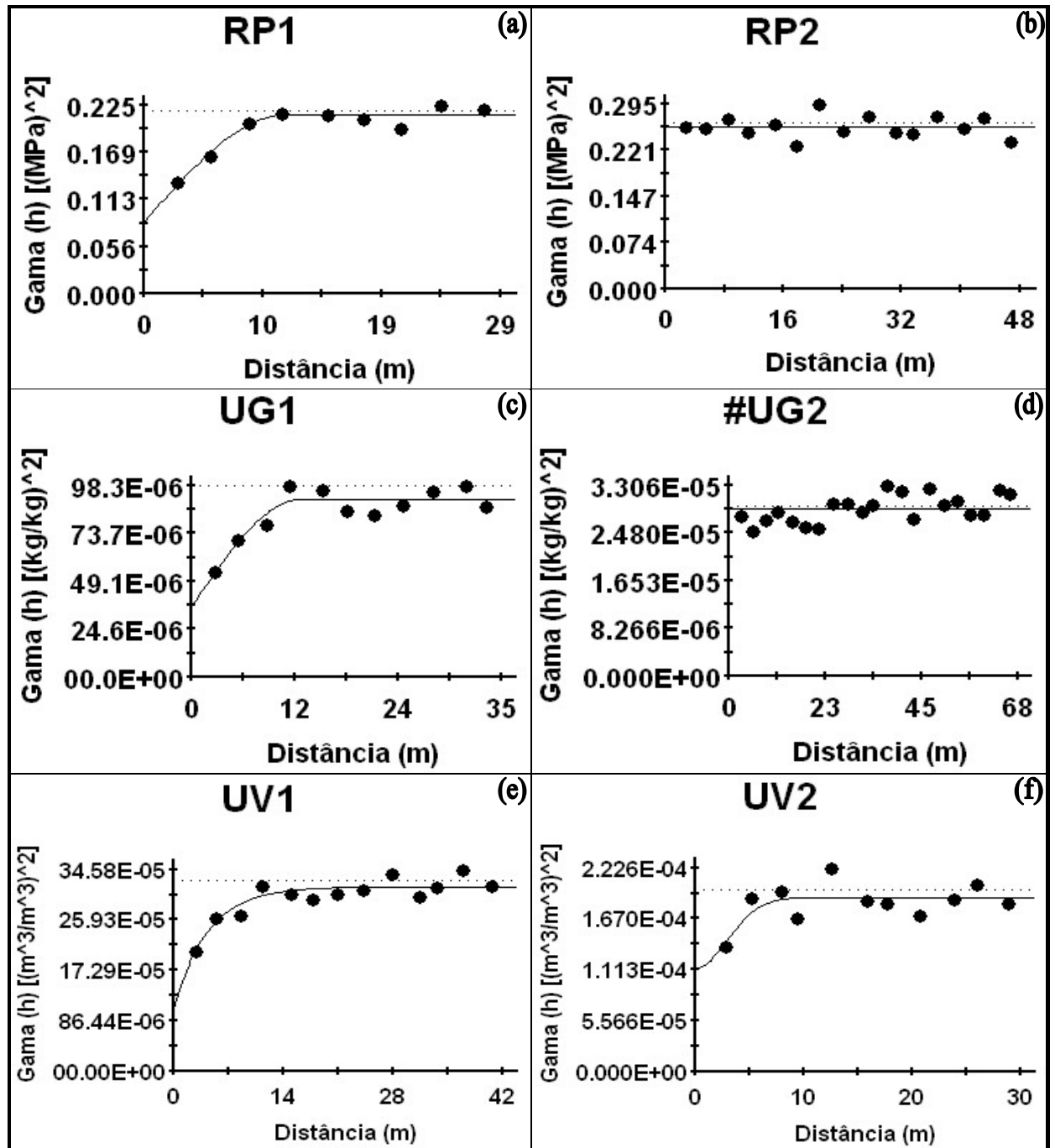


Figura 6: Semivariogramas simples dos atributos (RP1, RP2, UG1, #UG2, UV1 E UV2) num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).

(2006) e Lima et al. (2007), nos quais variaram entre 0,819 e 0,906. Em relação ao ADE, o moderado valor observado (44,9%) também concordou com os referidos autores, nos quais os ADEs variaram entre 50,1 a 72,2%. O modelo gaussiano ajustado para o DS2 ficou de acordo com o observado por Lima et al. (2007), diferentemente do modelo esférico obtido por Santos et al. (2006). Também, o alcance do DS2 do presente (9,0 m) foi menor do que aqueles dos citados autores, que variaram entre 23,0 e 60,6 m.

Para o segundo (RP1, Quadro 6), o valor do r^2 do RP1 (0,930), que indicou ser tal atributo o segundo de melhor ajuste semivariográfico, concordou com aqueles verificados por Santos et al. (2005), Carvalho et al. (2006) e Freddi et al. (2006), nos quais variaram entre 0,881 e 0,941. Em relação ao ADE, o moderado valor observado (60,1%) concordou com Carvalho et al. (2006) e Freddi et al. (2006), nos quais os ADEs variaram entre 42,9 a 73,6%, discordando, contudo, de Santos et al. (2005), que obtiveram o valor de 77,3 %. O modelo esférico ajustado para o RP1 ficou de acordo com o observado por Santos et al. (2005) e Carvalho et al. (2006), diferentemente do modelo exponencial obtido por Freddi et al. (2006). Também, o alcance do RP1 do presente (11,5 m) foi menor do que todos aqueles dos citados autores, que variaram entre 20,2 e 67,1 m.

Para o terceiro (PG, Quadro 6), o valor do r^2 observado para a PG (0,879), que indicou ser tal atributo o terceiro de melhor ajuste semivariográfico, concordou com aqueles de Santos et al. (2005) e Santos et al. (2006), nos quais variaram entre 0,868 e 0,958, assim como discordou dos menores valores observados por Carvalho et al. (2006) e Freddi et al. (2006), nos quais variou entre 0,598 e 0,798. Em relação ao ADE, o moderado valor observado (54,7%) concordou com Santos et al. (2005) e Santos et al. (2006), nos quais seus valores variaram entre 50,1 e 73,1 %, assim como, discordou de Carvalho et al. (2006) e Freddi et al. (2006), nos quais ele variou entre 80,0 e 82,1 %. O modelo esférico ajustado para a PG ficou de acordo com o observado por Carvalho et al. (2006) e Santos et al. (2006), diferentemente do modelo exponencial obtido por Santos et al. (2005) e Freddi et al. (2006). Também, o alcance da PG do presente trabalho (19,7 m) foi maior do que aqueles de Santos et al. (2005) e Freddi et al. (2006), que variaram entre 6,1 e 15,3 m, assim como, foi menor do que aqueles de Carvalho et al. (2006) e Santos et al. (2006), que variaram entre 20,2 e 41,1 m.

No Quadro 6, a relação decrescente dos alcances foi a seguinte: 1) MM (20,6 m), 2) GS (20,0 m), 3) PG (19,7 m), 4) UV1 (13,0 m), 5) UG1 (12,5 m), 6) RP1 (11,5 m), 7) DS2 (9,0 m), 8) MA2 (8,5 m), 9) UV2 (7,1 m) e 10) PT2 (7,0 m). Portanto, nas condições da presente pesquisa, assim como, visando auxiliar pesquisa futura, na qual os mesmos atributos estejam envolvidos, os valores dos alcances a serem utilizados nos pacotes geoestatísticos,

que alimentarão os pacotes computacionais empregados na agricultura de precisão, no geral, não deverão ser menores do que 7,0 m. Por outro lado, exclusivamente para os atributos da planta, não menores do que 19,7 m.

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 da produtividade da soja e de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS), assim como, nas Figuras 7 e 8 são apresentadas as respectivas validações. A relação decrescente delas, analisada pela grandeza do coeficiente de correlação (r), foi a seguinte: 1) MM (0,611), 2) PG (0,429), 3) GS (0,363), 4) UV1 (0,349), 5) UG1 (0,348), 6) DS2 (0,344), 7) RP1 (0,316), 8) PT2 (0,285), 9) UV2 (0,215), 10) MA2 (0,210). Assim, as cinco melhores validações cruzadas foram estabelecidas para os atributos MM, PG, GS, UV1 e o UG1, cujos coeficientes de correlação variaram de 0,611 a 0,348. Tais atributos foram ranqueados aleatoriamente, creia-se, na mesma seqüência que aquela estabelecida para a grandeza decrescente dos seus alcances, estabelecidos no Quadro 6. Por outro lado, os coeficientes angulares (b) das validações cruzadas variaram entre 0,757 (PT2) e 1,000 (MM). Portanto houve, no primeiro caso, uma subestimativa do valor da PT2, ao passo que, no segundo, foi exatamente o mesmo. Contudo, para a grande maioria deles, a magnitude do coeficiente b ficou ao redor de um, preconizada como ideal conforme o GS+ (2004).

4.3.1.3. Mapas de krigagem dos atributos estudados

Nas Figuras 9, 10 e 11 estão apresentados os mapas de krigagem da produtividade da soja e de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS). Assim, na Figura 9a, o mapa de krigagem da produtividade de grãos de soja (PG) apresentou as maiores cifras (3318-3729 kg ha⁻¹) em forma de cruz, com o travessão horizontal estabelecido no sentido nordeste-sudoeste, assim como, com o vertical, no sentido noroeste-sul. Por outro lado, nas demais regiões, tal produtividade variou entre 2770 e 3318 kg ha⁻¹. Em relação aos atributos do solo, foi notada, com respeito à PG (Fig. 9a), uma inversa e elevada semelhança com o comportamento espacial da UV2 (Fig. 11d). Nos sítios onde a UV2 foi menor, entre 0,315 e 0,327 m³ m⁻³ (travessão horizontal da cruz), a PG resultou maiores valores (3318 e 3729 kg ha⁻¹). Já naqueles onde a UV2 foi maior, entre 0,327 e 0,343 m³ m⁻³ (travessão vertical da cruz), a PG resultou seus menores valores (2770 e 3318 kg ha⁻¹). Dessa forma, esse mesmo comportamento inverso entre tais variáveis (planta e solo) ficou plenamente de acordo com o observado por Gonçalves et al. (1998), Santos et al. (2005), Kitamura et al. (2007) e Lima et al. (2007). Assim, os dois primeiros trabalharam com a

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

Atributo ^(a)	Coeficiente de correlação (r)	VO = a + b . VE ^(b)	
		a	b
<i>$\gamma(h)$ simples dos atributos da planta</i>			
PG (kg ha ⁻¹)	0,429	2,339.10 ²	9,280.10 ⁻¹
MM (g)	0,611	-2,000.10 ⁻¹	1,000
GS (%)	0,363	7,980	9,120.10 ⁻¹
<i>$\gamma(h)$ simples dos atributos do solo</i>			
MA1 (m ³ m ⁻³) ^(c)	-	-	-
MA2 (m ³ m ⁻³)	0,210	6,000.10 ⁻³	9,180.10 ⁻¹
MI1 (m ³ m ⁻³) ^(c)	-	-	-
MI2 (m ³ m ⁻³) ^(c)	-	-	-
PT1 (m ³ m ⁻³) ^(c)	-	-	-
PT2 (m ³ m ⁻³)	0,285	1,200.10 ⁻¹	7,570.10 ⁻¹
DS1 (kg dm ⁻³) ^(c)	-	-	-
DS2 (kg dm ⁻³)	0,344	6,000.10 ⁻¹	8,180.10 ⁻¹
RP1 (MPa)	0,316	5,630.10 ⁻²	9,700.10 ⁻¹
RP2 (MPa) ^(c)	-	-	-
UG1 (kg/kg ⁻¹)	0,348	4,800.10 ⁻²	7,84.10 ⁻¹
UG2 (kg kg ⁻¹) ^(c)	-	-	-
UV1 (m ³ m ⁻³)	0,349	2,500.10 ⁻²	9,190.10 ⁻¹
UV2 (m ³ m ⁻³)	0,215	7,700.10 ⁻²	7,680.10 ⁻¹

^(a) PG = produtividade de grãos de soja; MM = massa de mil grãos; GS = germinação de sementes; MA, MI, PT, DS, RP,UG e UV, de 1 a 2, são respectivamente a macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, resistência à penetração, umidade gravimétrica e umidade volumétrica do solo; ^(b) VO = valor observado e VE = valor estimado; ^(c) epp = efeito pepita puro.

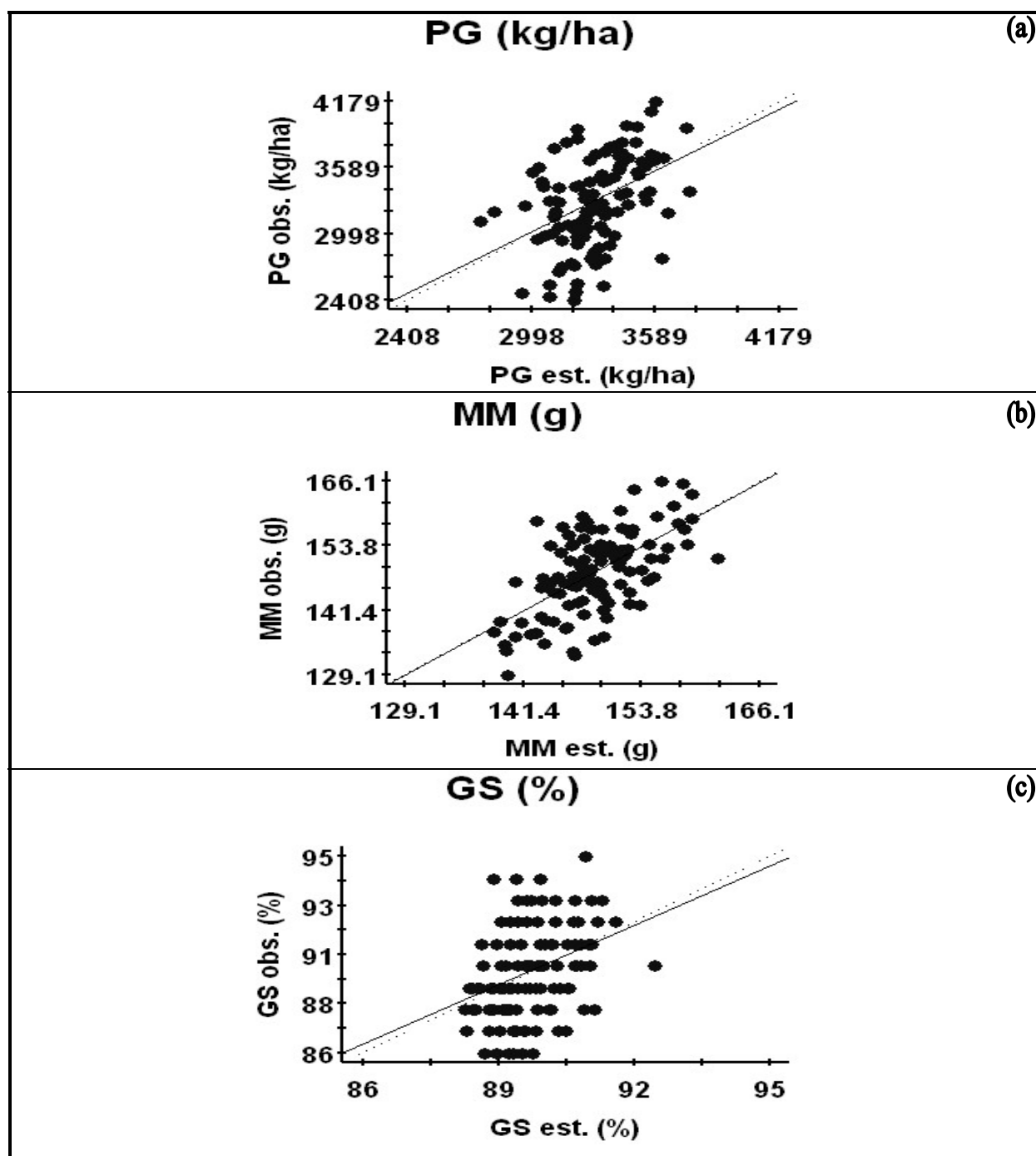


Figura 7: Validação cruzada dos atributos (PG, MM e GS) da produtividade da soja num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).

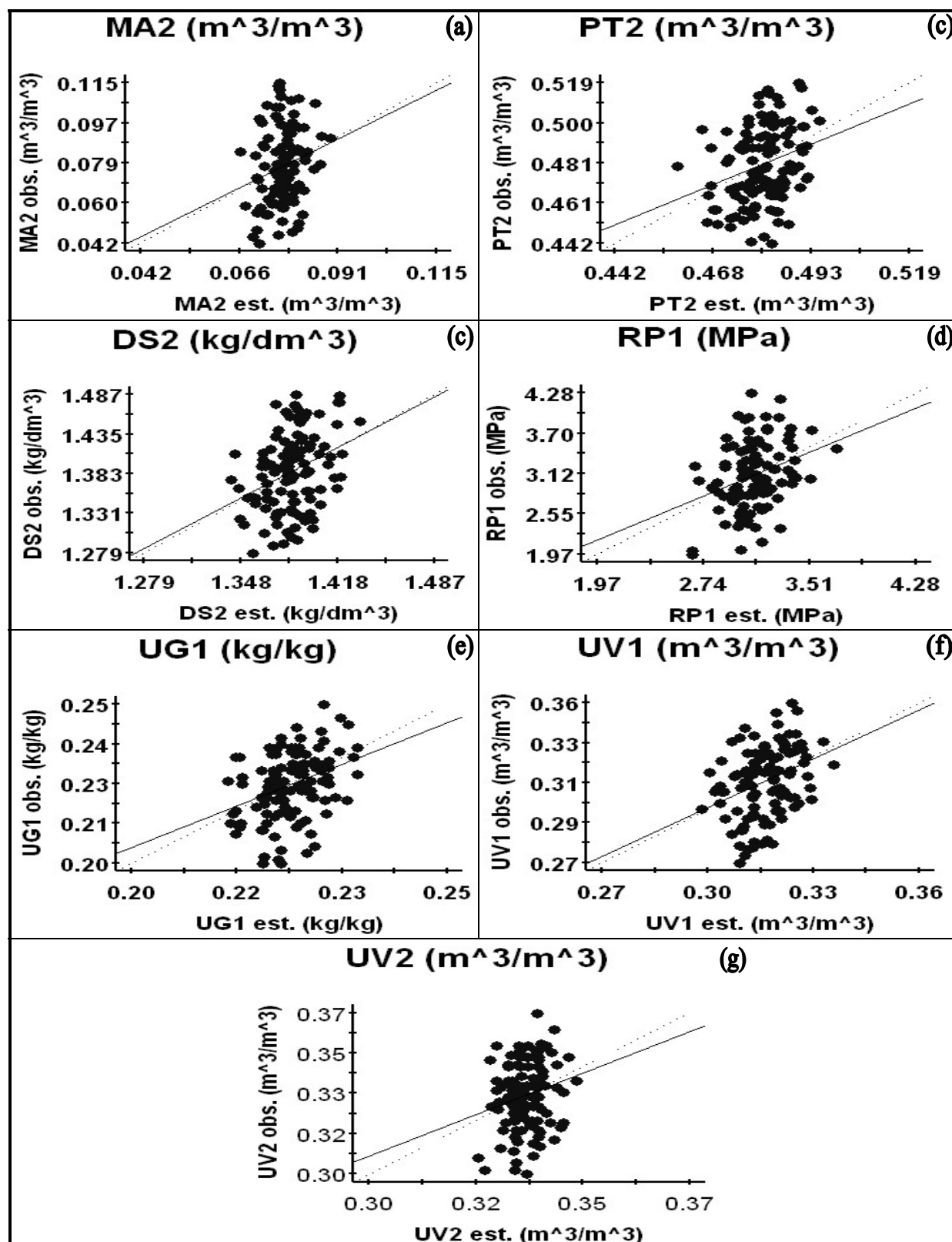


Figura 8: Validação cruzada dos atributos (MA2, PT2, DS2, RP1, UG1, UV1 e UV2) num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).

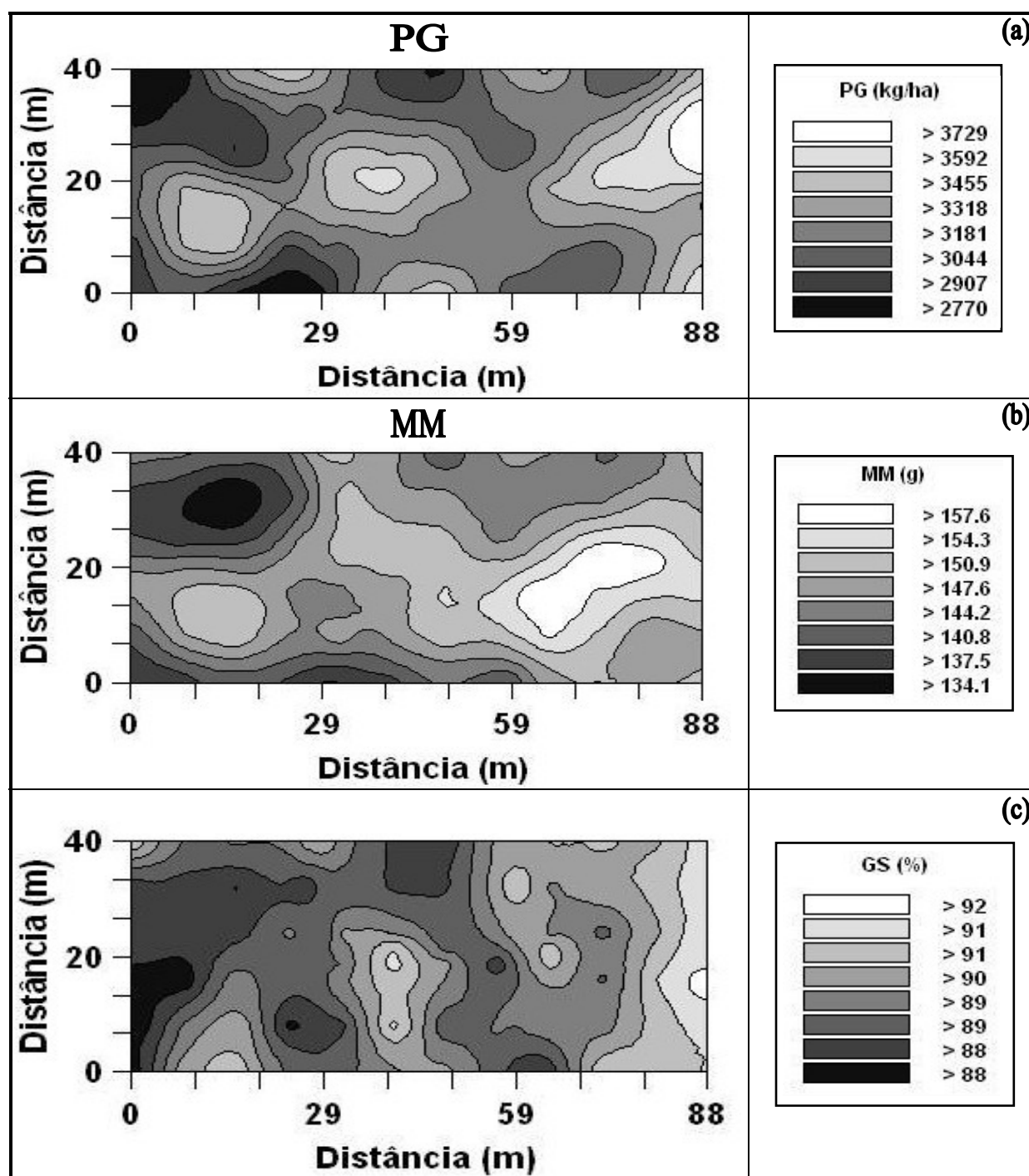


Figura 9: Mapas de krigagem dos atributos (PG, MM e GS) da produtividade da soja num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).

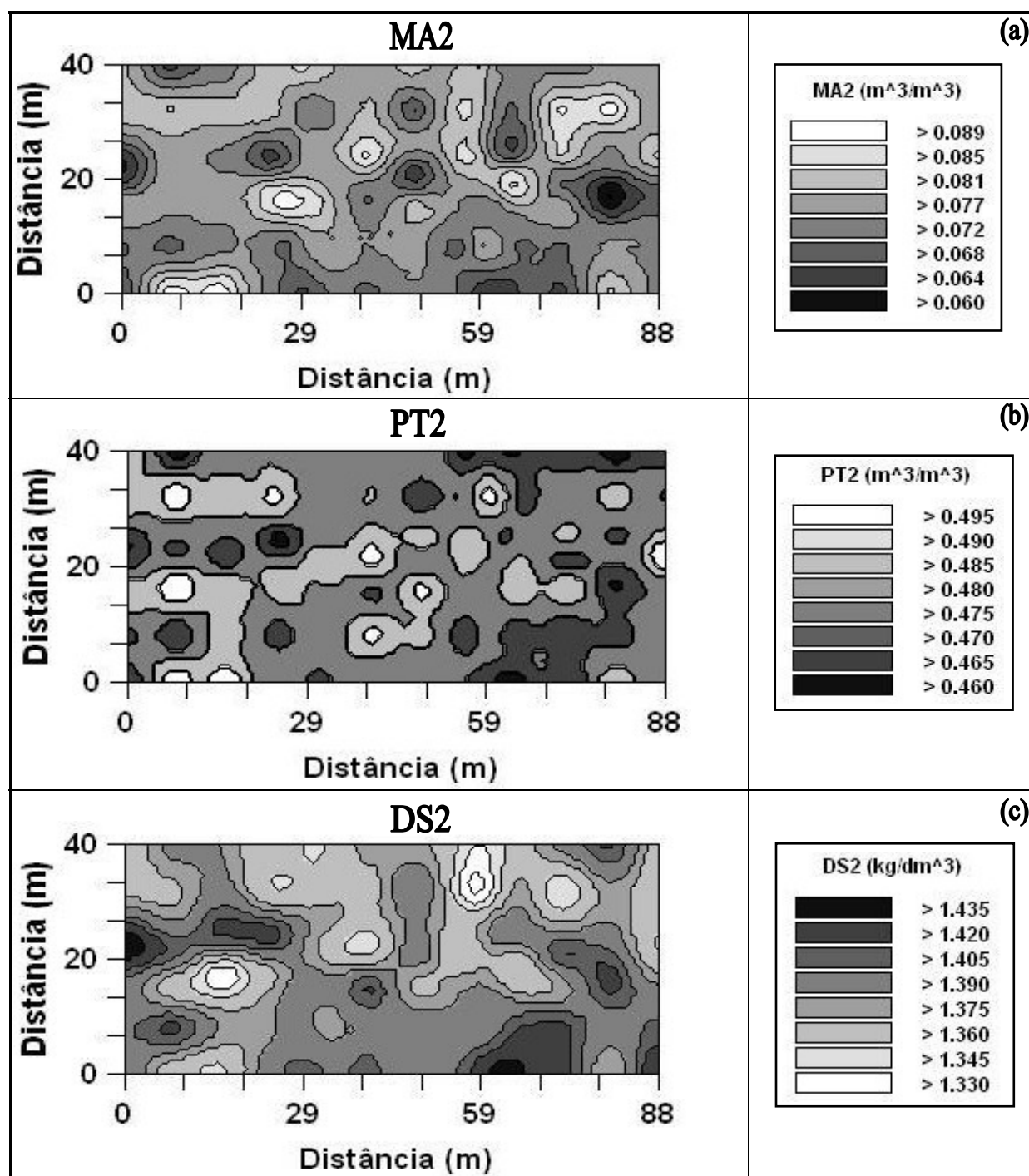


Figura 10: Mapas de krigagem dos atributos (MA2, PT2 e DS2) num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).

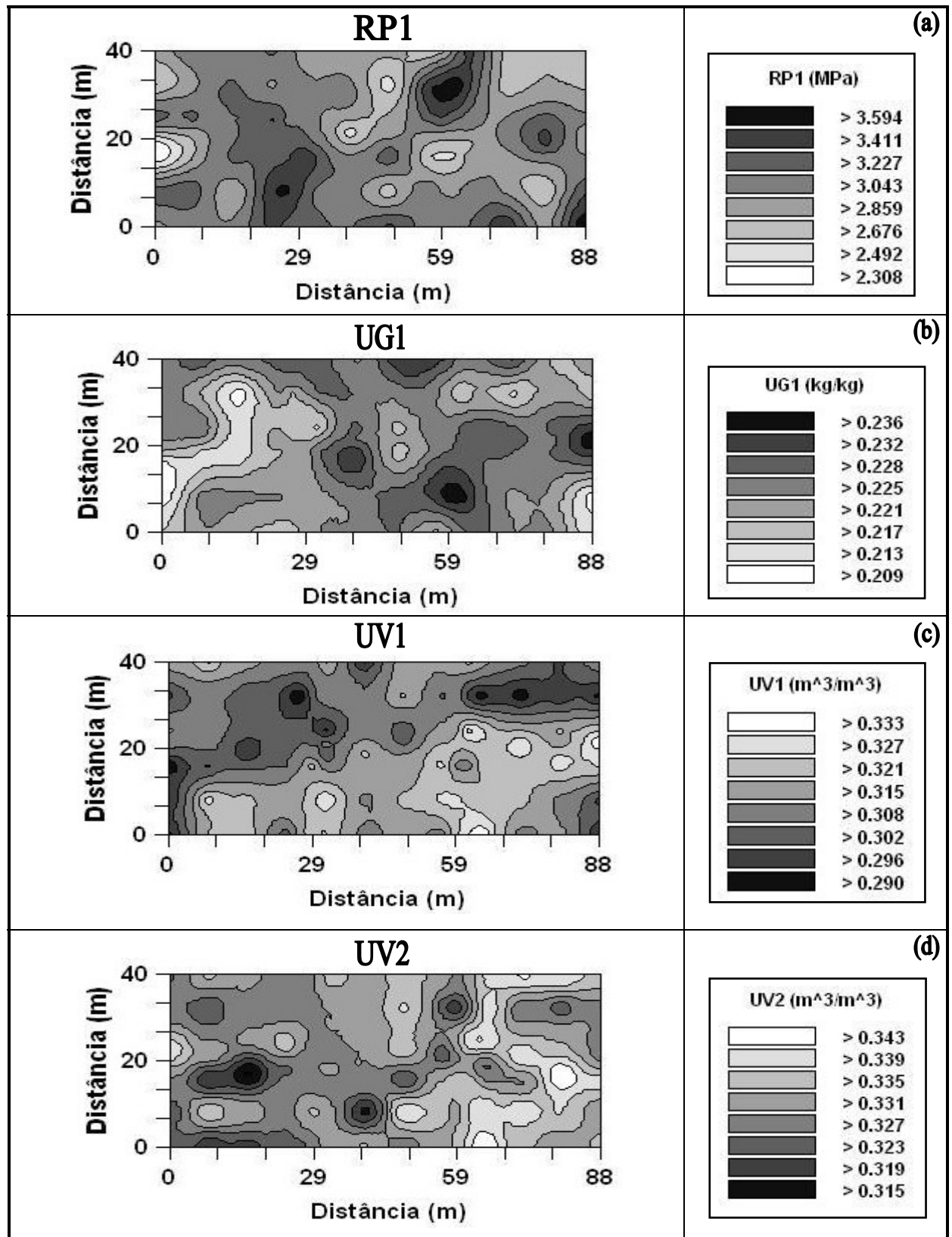


Figura 11: Mapas de krigagem dos atributos (RP1, UG1, UV1 e UV2) num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).

resistência à penetração e a produtividade de grãos de feijão (respectivamente num Nitossolo Vermelho Eutrófico paranaense e num Latossolo Vermelho Distroférrico paulista); o terceiro, com a granulometria do solo e a produtividade de grãos de feijão, também num Latossolo Vermelho Distroférrico paulista, e o quarto, com a produtividade de massa seca do milho safrinha e a densidade do solo, num Latossolo Vermelho Distroférrico paulista. Por outro lado, em relação ao restante dos atributos do solo (MA2, PT2, DS2, RP1, UG1 e o UV1), não foi notada, em nenhum deles isoladamente, a mesma semelhança que a UV2 proporcionou com a PG.

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 apresentados os parâmetros dos semivariogramas cruzados, ajustados entre alguns atributos da produtividade de grãos de soja e de um Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS). Nas Figuras 12, 13 e 14 estão contidos os semivariogramas cruzados e os mapas de co-krigagem entre os 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 a seguinte: 1) $PG=f(GS)$, $r^2=0,812$; 2) $PG=f(MM)$, $r^2=0,789$; 3) $PG=f(UV2)$, $r^2=0,674$; 4) $PG=f(PT2)$, $r^2=0,599$ e 5) $RP1=f(UG1)$, $r^2=0,494$. Já com respeito à avaliação da dependência espacial, ela ficou entre 50,0%, moderada para o $PG=f(GS)$, e 99,9%, alta para o $PG=f(MM)$ e o $RP1=f(UG1)$.

No Quadro 8, o maior valor do coeficiente de determinação espacial, obtido para o atributo $PG=f(GS)$, evidenciou que 81,2% da variabilidade espacial dos dados da PG puderam ser explicados pela variabilidade espacial da GS. Por outro lado, para o segundo [$PG=f(MM)$], 78,9% da variabilidade espacial dos dados da PG puderam ser explicados pelos da MM. Tais co-krigagens foram de elevada importância agrícola uma vez que, a partir da GS e da MM, 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 MM.

Do ponto de vista edafológico, o maior interesse do Quadro 8 residuiu nas co-krigagens efetuadas entre a PG e os atributos do solo (Fig. 13a,b,c,d). A melhor delas (Fig. 13c,d), estabelecida para o atributo $PG=f(UV2)$, evidenciou que 67,4% da variabilidade espacial da PG puderam ser explicados pela variabilidade espacial da UV2. Também neste caso, pode-se,

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

Parâmetros								
Atributo ^(a)	Modelo ^(b)	Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ +C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR ^(c)	Avaliador da dependência espacial	
							ADE ^(d)	Classe
<i>$\gamma(h)$ cruzados entre atributos da planta</i>								
PG = f(MM)	exp	1,000	1,479. 10 ³	46,8	0,789	4,681.10 ⁵	99,9	alta
PG = f(GS)	gau	1,887.10 ²	3,775. 10 ²	24,6	0,812	9,140. 10 ³	50,0	moderada
<i>$\gamma(h)$ cruzados entre atributos da planta e do solo</i>								
PG = f(PT2)	esf	0,484	1,354	21,1	0,599	0,345	64,3	moderada
PG = f(UV2)	esf	-0,141	-0,674	18,2	0,674	0,698	79,1	alta
<i>$\gamma(h)$ cruzados entre atributos do solo</i>								
RP1 = f(UG1)	esf	-1,000.10 ⁻⁶	-1,031.10 ⁻³	15,4	0,494	7,897.10 ⁻⁷	99,9	alta

^(a)PG = produtividade de grãos de soja, MM = massa de mil grãos, GS = germinação de sementes, PT = porosidade total, RP = resistência mecânica à penetração, UG = umidade gravimétrica e UV = umidade volumétrica; ^(b) exp = exponencial, gau = gaussiano, esf = esférico e epp = efeito pepita puro; ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) ADE = avaliador da dependência espacial.

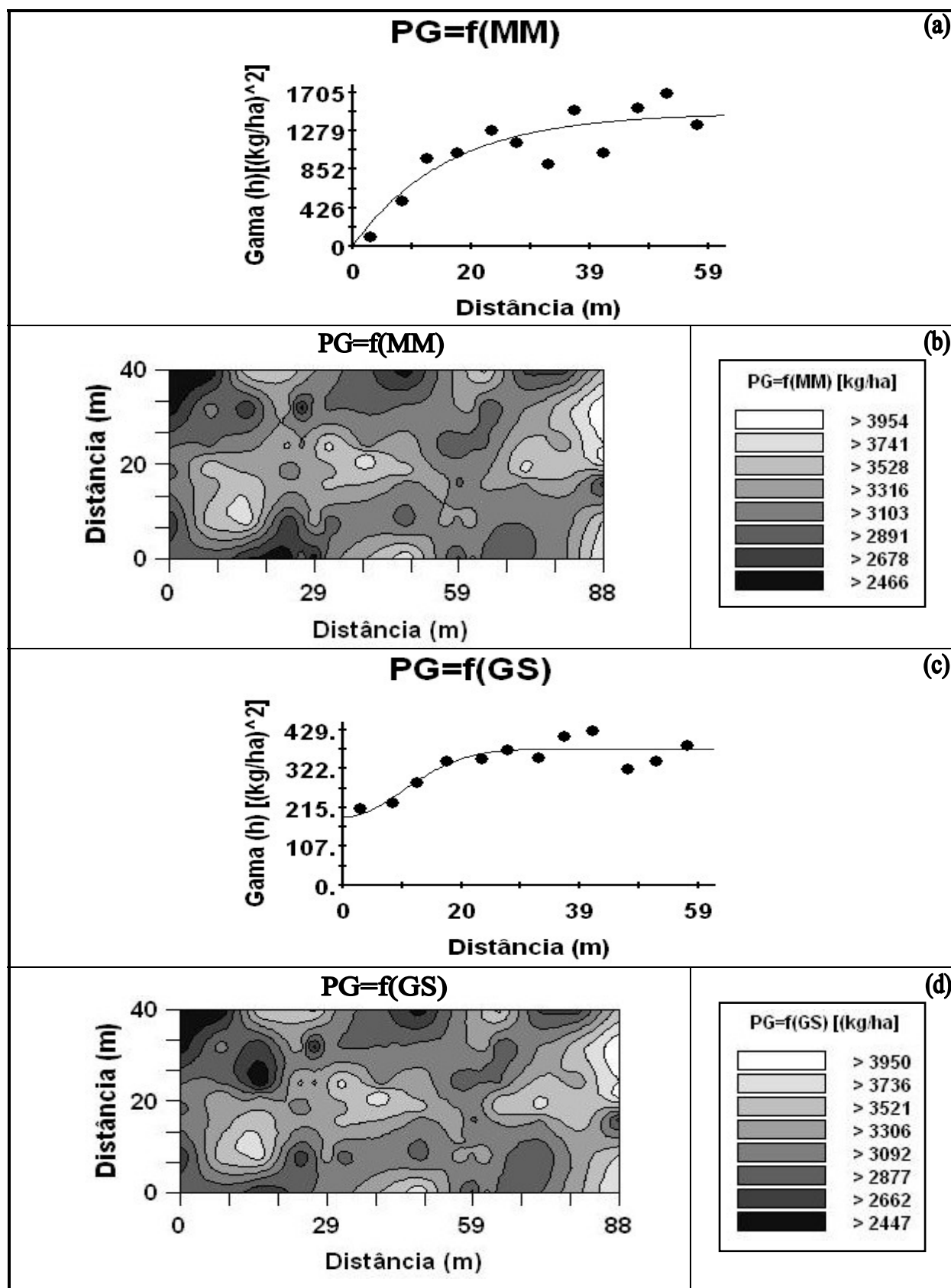


Figura 12: Semivariograma cruzado e mapas de co-krigagem da produtividade da soja (PG) em função da massa de mil grãos (MM) e da germinação de sementes (GS) num Latossolo Vermelho Distroférico de Selvíria (MS).

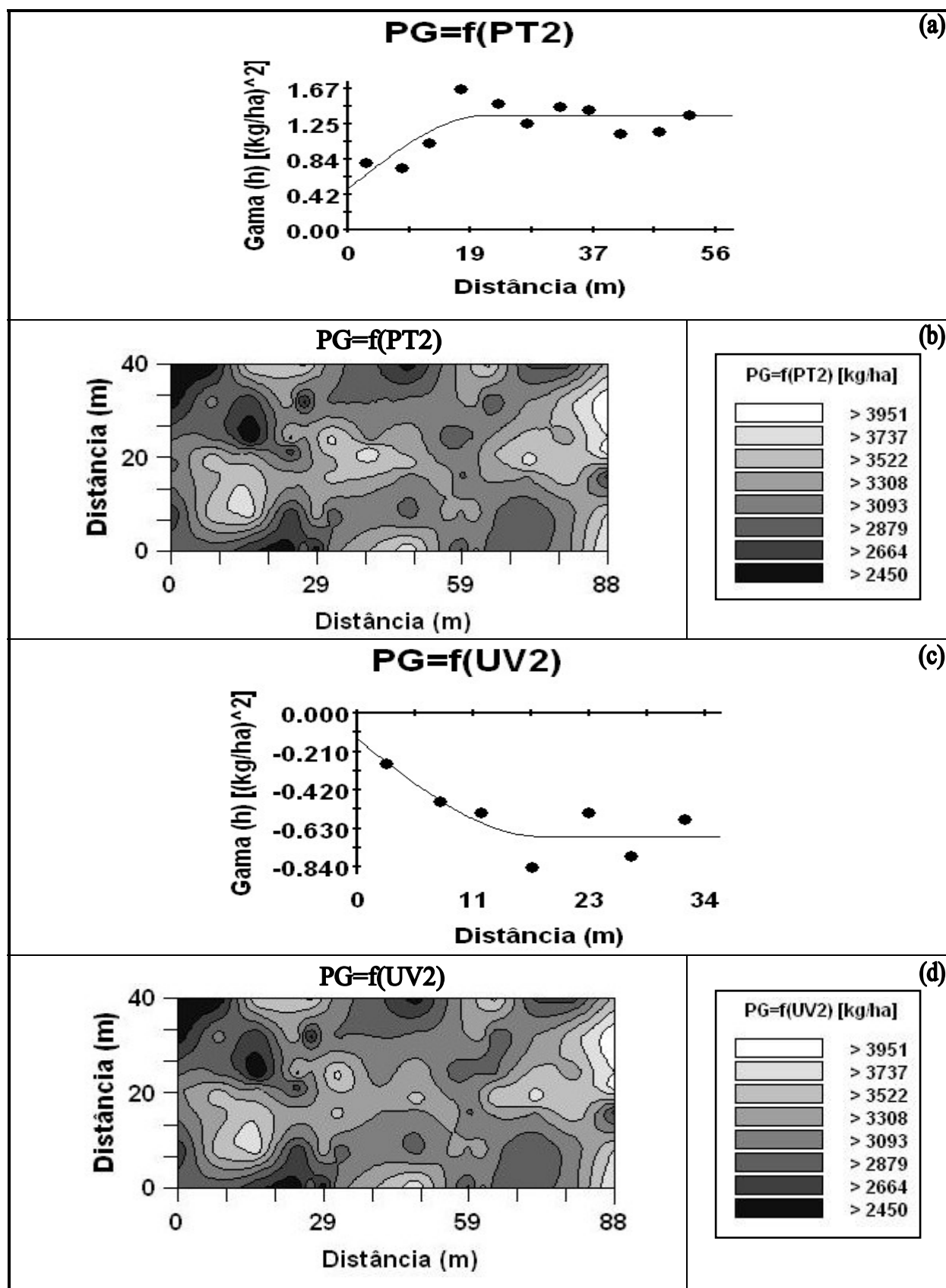


Figura 13: Semivariograma cruzado e mapas de co-krigagem da produtividade da soja (PG) em função da porosidade total (PT2) e da umidade volumétrica (UV2) num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).

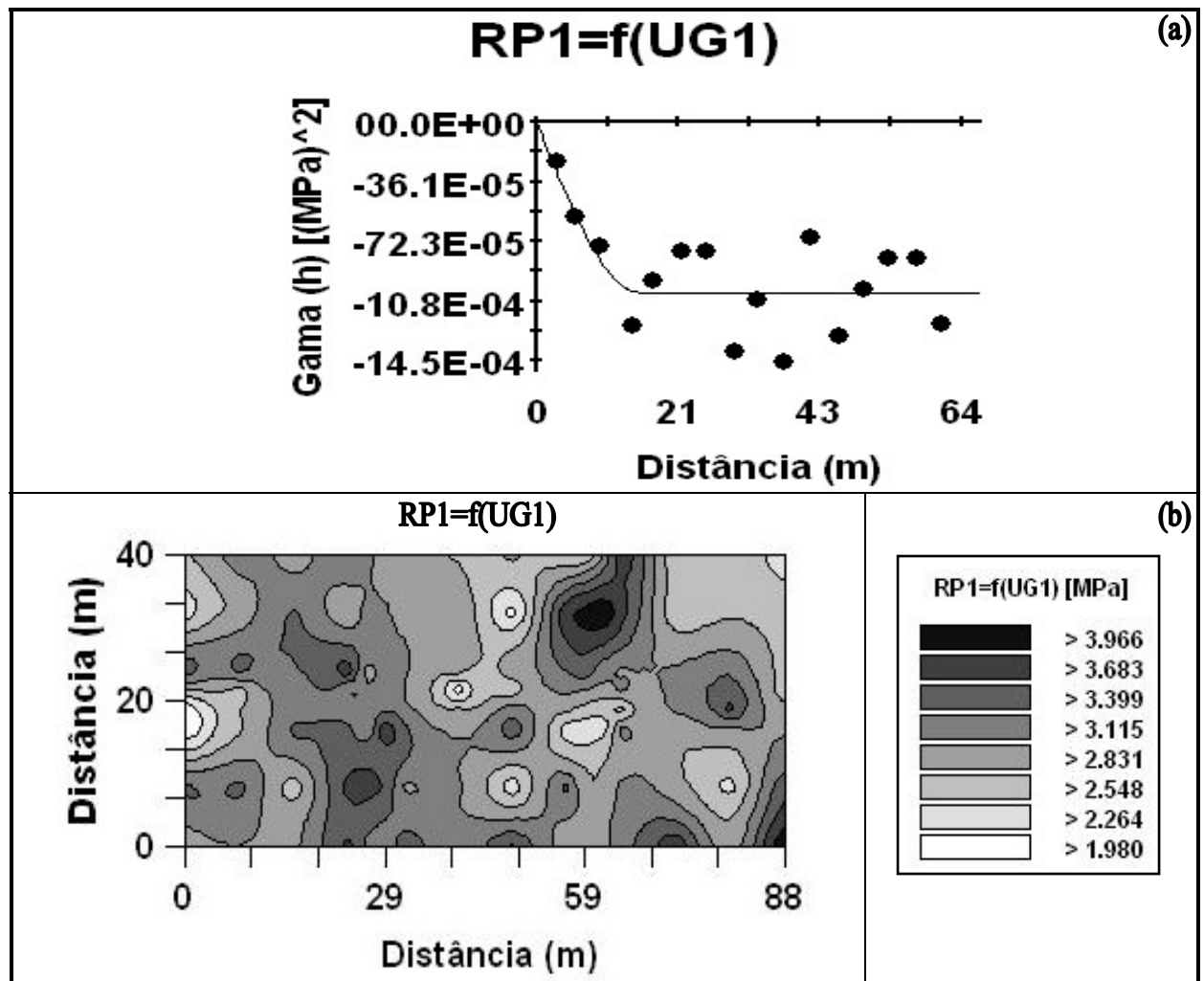


Figura 14: Semivariograma cruzado e mapa de co-krigagem da resistência à penetração (RP1) em função da unidade gravimétrica (UG1) num Latossolo Vermelho Distroférrico de Selvíria (MS).

a partir dos dados da UV2, localizar as zonas de manejo para a cultura da soja que foi estabelecida na área experimental pesquisada. Assim, pôde-se constatar que onde ocorreram os menores valores de UV2 (Fig.11d) foram mapeados os maiores valores da PG (Fig.9a e 13d). Em contrapartida, nos maiores valores da UV2 observaram-se os menores valores da PG. Sendo assim, podem ser recomendadas práticas conservacionistas às zonas de manejo, nas quais a UV2 resultou seus maiores valores, visando-se elevar a respectiva produtividade de grãos de soja local. Portanto, do ponto de vista espacial, a umidade volumétrica do solo, avaliada na camada de 0,10-0,20 m (UV2), 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 e Pesquisa – Setor de Produção Vegetal, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FE/UNESP), localizada no município de Selvíria (MS).

5. CONCLUSÕES

Face ao exposto, a presente pesquisa realizada num Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema plantio direto, no município de Selvíria (MS), com os materiais e métodos empregados, e em decorrência dos resultados obtidos, analisados e interpretados, possibilitou as seguintes conclusões:

1) A produtividade de grãos de soja obtida foi consideravelmente elevada para os padrões nacionais, apresentando média variabilidade. Contudo, na maioria dos atributos físicos do solo, tal variabilidade foi baixa, denotando ser o plantio direto um sistema que desencadeou a homogeneização do ambiente;

2) A produtividade de grãos de soja pôde ser explicada por um modelo matemático linear inverso, em função da densidade do solo, quando obtida na camada de 0,10 – 0,20 m de profundidade do solo. Outrossim, como no geral os atributos pesquisados não variaram aleatoriamente, seguiram padrões espaciais bem definidos, com alcances da dependência espacial entre 7,0 e 20,6 m. Portando, do ponto de vista espacial, a produtividade de grãos de soja pôde ser estimada por meio da umidade volumétrica, quando obtida na camada de 0,10 – 0,20 m de profundidade do solo, e

3) A umidade volumétrica e a densidade do solo apresentaram-se como satisfatórios indicadores da produtividade de grãos de soja.

6. REFERÊNCIAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p.275-282, 2003.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; A .J.; (Eds). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141 (SSSA Special publication, 49).

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 29, p.425 -425, 2005.

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.

BARIZON, R.R.M. **Calagem na superfície para a cultura da soja, em semeadura direta sobre (*Brachiaria brizantha*)**. Botucatu, 2001. 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

BENGOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v. 41, p. 341-358, 1990.

BENGOUGH, A. G.; CAMPBELL, D. J.; O' SULLIVAN, M. F. **Penetrometer Techniques in relation to Soil Compaction and Root Growth**. In: SOIL and environmental analysis: physical methods. 2. ed. [s.l.]: Marcel Dekker. 2001, p. 377-403.

BERTOLANI, F.C.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo-Amarelo, sob diferentes usos. **R. Bras. Ci. Solo**. Viçosa, MG, v.25, n.3, p.987-995, 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.

BLACK, R.J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectivas. In: Câmara, G.M.S. (Ed.) **Soja: tecnologia da produção II**. Piracicaba: Esalq/LPV, 2000, p.1-18.

BRADFORD, J. M. The penetration resistance in a soil with well-defined structural units. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 2, p. 601-606, 1980.

BRACCINI, A. L.; MOTTA, I. S.; SCAPIM, C. A.; BRACCINI, M. C. L.; ÁVILA, M. R.; SCHUAB, S. R. P. Semeadura da soja no período de safrinha: potencial fisiológico e sanidade das sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 25, n. 1, p.76-86, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNPV/CLAV, 1992, 365p.

CÂMARA, G. M. S. **Soja: tecnologia de produção II**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ/LPV, 2000. 450p.

CAMARGO, O. A., ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Esalq, 1997. 132 p.

CANARACHE, A. Penetr-a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.16, p. 51-70, 1990.

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

CARVALHO, O. S.; J. M. GASCO.; F. G. LOPEZ.; A. S. REQUEJO. 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, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588p.

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.

COLOZZI-FILHO, A. Plantio direto: microrganismos e processos. In: ASSOCIAÇÃO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO. **Atualização em fertilidade e biodinâmica no sistema plantio direto**. Brasília: APDC, 2000. p.29-42.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. SÉRIE histórica da soja: safra 2006/07. Brasília: CONAB, 2007. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br>. > Acessado em 03/07/2007.

DALLMEYER, A. U. **Avaliação energética e desempenho operacional de equipamentos de preparo do solo**. 1994. 168f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.

DEMATTE, J. L.I. **Levantamento detalhado dos solos de Campus experimental de Ilha Solteira**. Piracicaba: departamento de solos, geologia e fertilidade ESALQ/USP, 1980. 44p.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, V. **Controle de erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit/ Instituto Agronômico do Paraná, Londrina, 1991. 272p.

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

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. SISTEMAS de produção: tecnologia de produção de soja – Região Central do Brasil 2007. Londrina: Embrapa Soja, 2006b, 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 par as principais culturas agrônômicas**: boletim 200. 6. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1998. 396p.

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.

FURLANI, C. E. A. **Efeito do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)** 2000. 218f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômica, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

GONÇALVES, A. C. A.; MATA, J. P. V.; VIEIRA, S. R.; FOLEGATTI, M. V. Variabilidade espacial de produtividade e de resistência à penetração em área irrigada sob dois sistema de preparo . In: AVANCES EN EL MANEJO DEL SUELOS Y AGUA EM LA INGENIERÍA RURAL LATINOAMERICANA, 1998, La Plata. **Anais...** La Plata: UNLP, 1998, p.113-119.

GONTIJO, I.; BORGES, E. N.; PASSOS, R. R.; CASAROTTI, D. C.; JORGE, R. F.; GUIMARÃES, E. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; BORGES, E. V. S. Uso da geoestatística no estudo de atributos físicos em solo de Cerrado de Minas com café. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto: **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2003 (CD-ROM).

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: Ufu - Núcleo de Estudos Estatísticos e Biomédicos, 2004. 77 p.

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).

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicação da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.37, n.5, p.1493-1500, 2000.

JOHANN, J. A.; OPAZO, M. A. U.; 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.

HENKLAIN, J. C. Efeito do preparo sobre característica do solo. In PEIXOTO, R. T. G.; AHRENS, D. C.; SAMAHA, M. J. **Plantio Direto: o caminho para uma agricultura sustentável**. Ponta Grossa: Instituto Agrônômico do Paraná, 1997, p.206-221.

HOOGMOED, W. B.; DERPSCH, R. Chisel ploughing as an alternative tillage systems in Paraná, Brasil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 6, n.1, p. 53 – 67, 1985.

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

KITAMURA, A. E., CARVALHO, M. P.; LIMA, C. G. R. 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.361-379, 2007.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.19, n. 2, p.395-401, 1995.

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, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2004. 209p.

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**. Cascavel, 2006. 140f. Dissertação: (Mestrado em Engenharia agrícola) - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

MARTINS, B. C. **Análise da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho Distrófico em função do grau de umidade**. 2002. 50f. Monografia (Curso de Agronomia), Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p.1149-1159, 2003.

MERCANTE, F.M. Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja. Como se beneficiar?. In ANAIS. ENCONTRO PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 7, 2003, Sorriso. **Anais...** Sorriso: Ed. UFMT, 2003. p.25-29.

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

MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C. M. Wheat root growth as affected by soil strength. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 197-202, 1999.

MORAES, W. V. **Comportamento de características e propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro, submetido a diferentes sistemas de cultivos**. Lavras, 1984. 107f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Universidade Federal Lavras, 1984.

NARIMATSU, K. C. P. **Plantio direto de soja sobre *Brachiaria brizantha* no sistema integração agricultura-pecuária**. Ilha Solteira, 2004. 73f. Dissertação: (Mestrado em

Agronomia -Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

OLIVEIRA, J. B.; MONIZ, A. C. Levantamento pedológico detalhado da estação experimental de Ribeirão Preto, SP. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 34, n. 2, p.59-114, 1975.

PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; NACHTIGALL, G. R. Produtividade do arroz irrigado em sistema de cultivo mínimo e na rotação com soja e milho. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 18, 1989. Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 1989, p. 150-160.

PEREZ-GOMAR, E.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Resistência à penetração de vertissolo a diferentes umidades e usos do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO, 14, 2002, Cuiabá: **Anais...** Cuiabá: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2002 (CD-ROM).

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

PONTES, J. M. **A geoestatística: aplicações em experimento de campo**. 2002. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002.

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

RODRIGUES, J. B. T. **Variabilidade espacial e correlações entre atributos do solo e produtividade na agricultura de precisão**. 2002. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômica, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

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

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 Scientiarum**, Maringá. n. 3, v. 28, p. 313-321, 2006.

SCHAFFRATH, V. R. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo e de variáveis de plantas daninhas em sistemas de manejo de solo**. 2006. 91 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Estadual do Paraná, Maringá, 2006.

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

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.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; 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.

SILVA, V. R. REICHERT, J. M.; STORK, L. FEIJÓ. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Latossolo Vermelho-amarelo distrófico arênico. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, n. 6, 1013-1020, 2003.

SILVA, A. P., KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 1175-1784, 1994.

SILVA, A.R.B. **Comportamento de variedades/híbridos de milho (*Zea mays* L.) em diferentes tipos de preparo de solo**. Botucatu, 2000. 95f. Dissertação (Mestrado em

Agronomia – Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

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.2, p.51-57, 2001.

SIQUEIRA, R. **Sistema de preparo em diferentes tipos de coberturas vegetais do solo**. Botucatu, 1999. 191f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

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 LATINOAMERICANA. La Plata, 1998. **Anais...** La Plata: UNLP, 1998, p.132-137.

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

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

SOARES, A. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2000. 209 p.

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

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em pomar cítrico. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p.367-372, 1997.

SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, G. L.; CAMPO, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **R. Bras. Ci. Solo**. Viçosa, MG, v.25, n. 3, p.699-707, 2001.

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, 2004.

SOUZA, Z. M.; CAMPOS, M. C. C.; CALVACANTE, I. H. L.; MARQUES JÚNIOR, J.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.1, p.128-134, 2006.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.15, n. 3, p. 229-235, 1991.

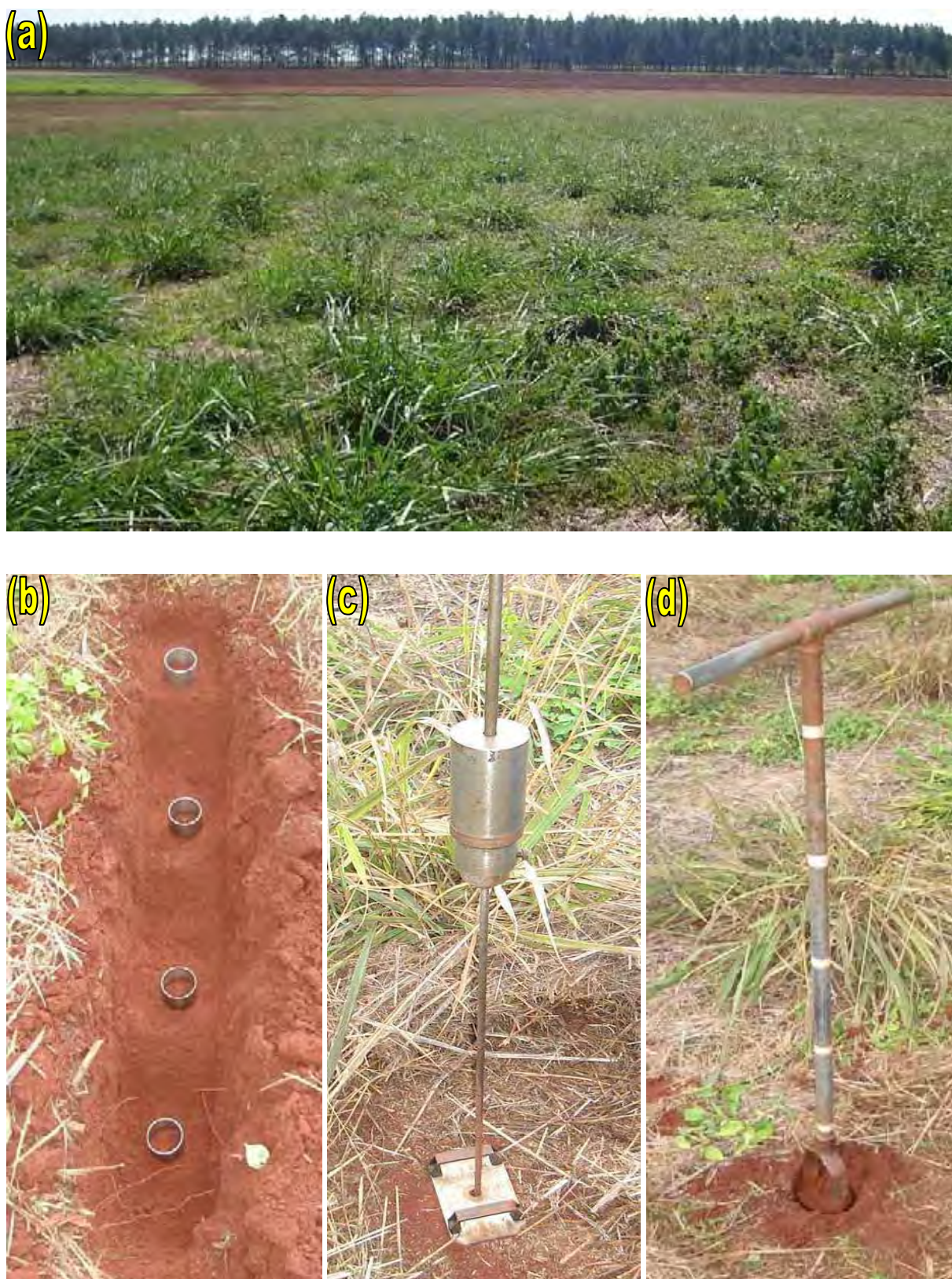
TAKEDA, Y. E. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. 2000. 87 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.38, p.45-94, 1985.

VIEIRA, S.R. **Curso de geoestatística aplicada à ciência do solo**. Jaboticabal: UNESP/FCAV, 1997. 47p.

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.

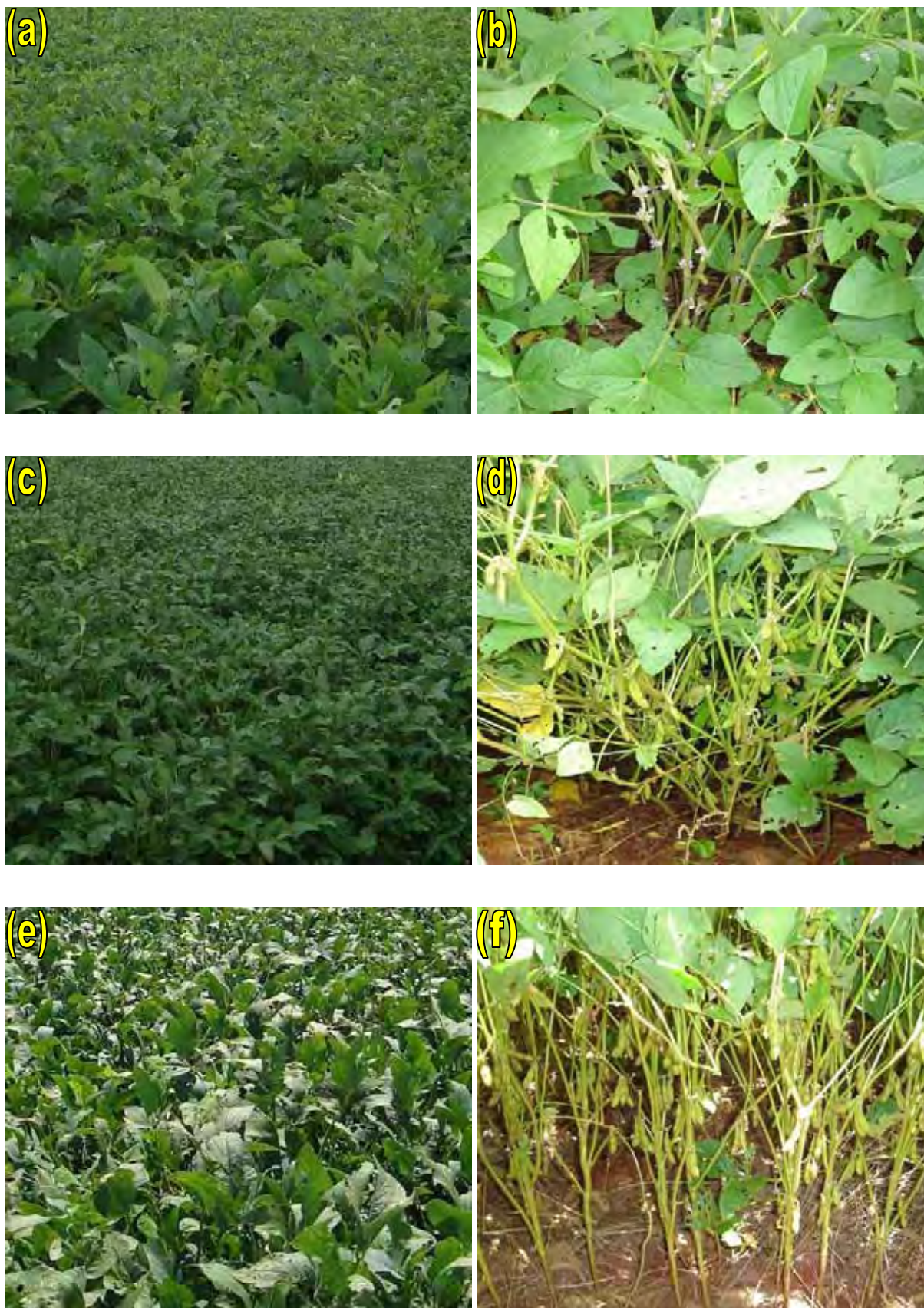
7. APÊNDICE



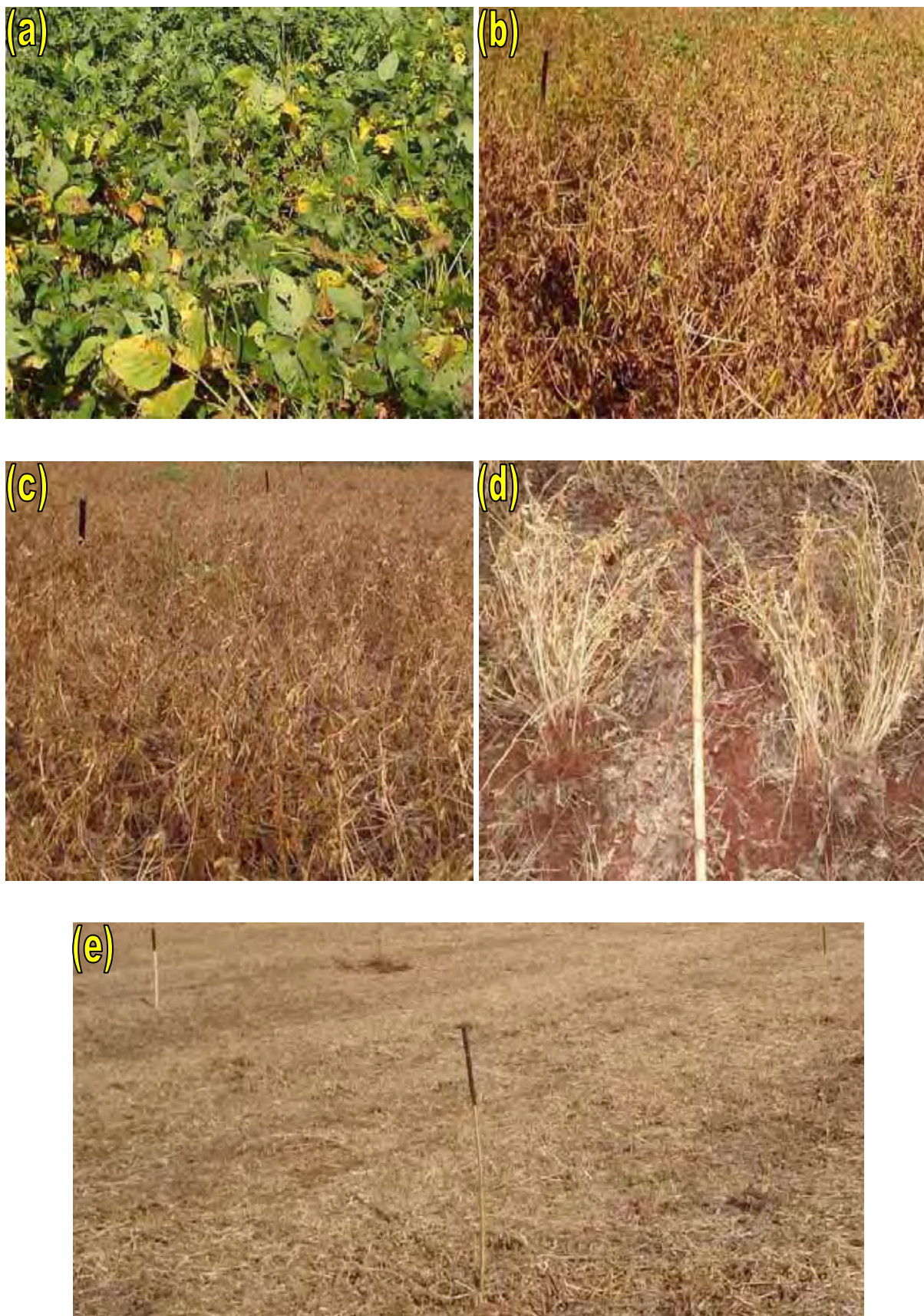
APÊNDICE A. (a) Área experimental antes da dessecação/semearura da soja; (b) Vista da coleta das amostras indeformadas do solo; (c) Detalhe da coleta da resistência à penetração, e (d) Coleta de amostras deformadas do solo.



APÊNDICE B. (a) e (b) Instalação do experimento; (c) Emergência das plântulas, 5 dias após a semeadura (DAS); (d) 12 DAS; (e) 18 DAS, e (f) 40 DAS.



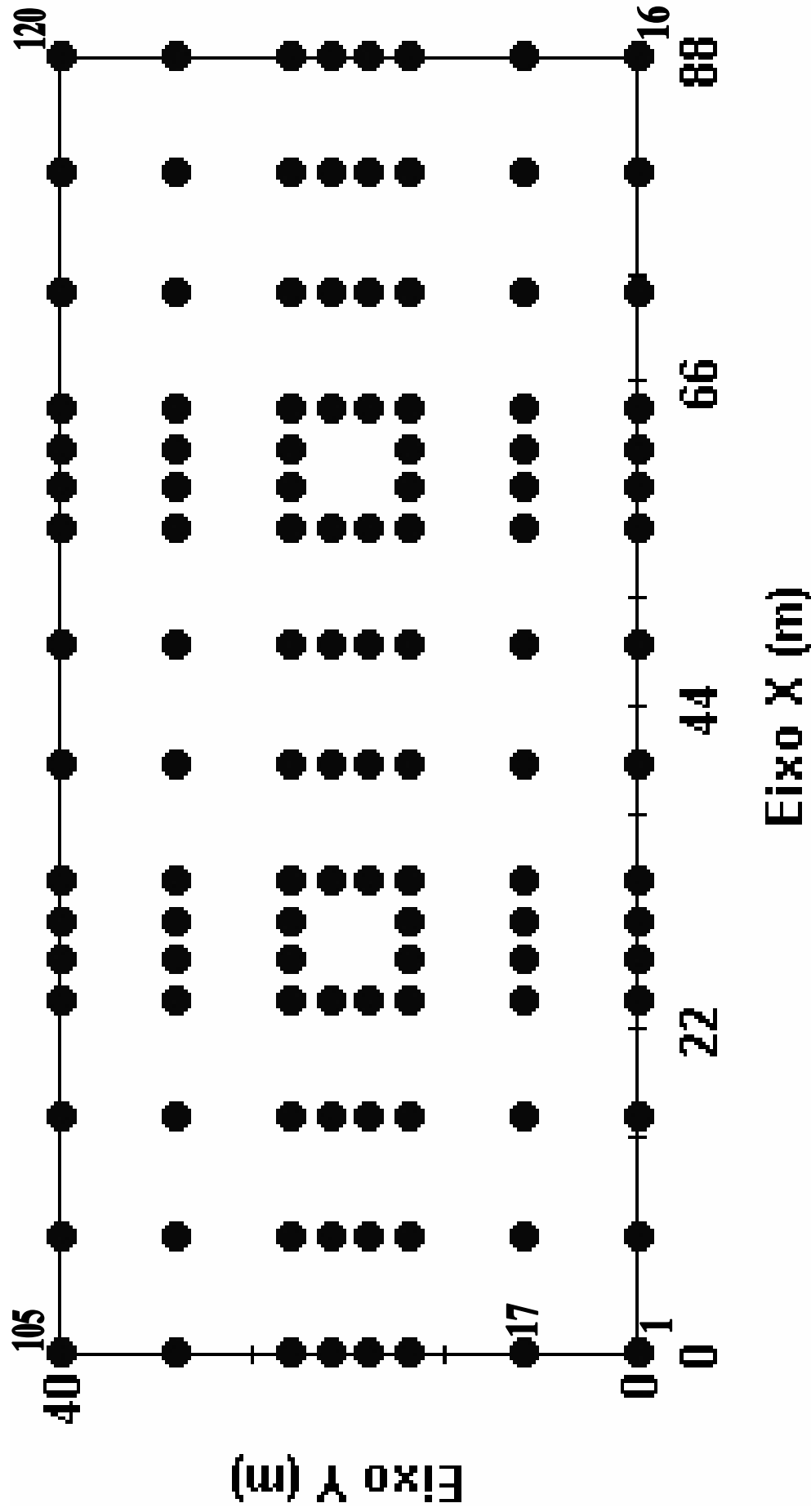
APÊNDICE C. (a) e (b) Florescimento, 53 DAS; (c) e (d) 70 DAS; e (e) e (f) 86 DAS.



APÊNDICE D. (a) 96 DAS; (b) Estaqueamento da malha, 104 DAS; (c) Dia da colheita, 111 DAS; (d) Área colhida de 3,24m²; (e) Experimento colhido.



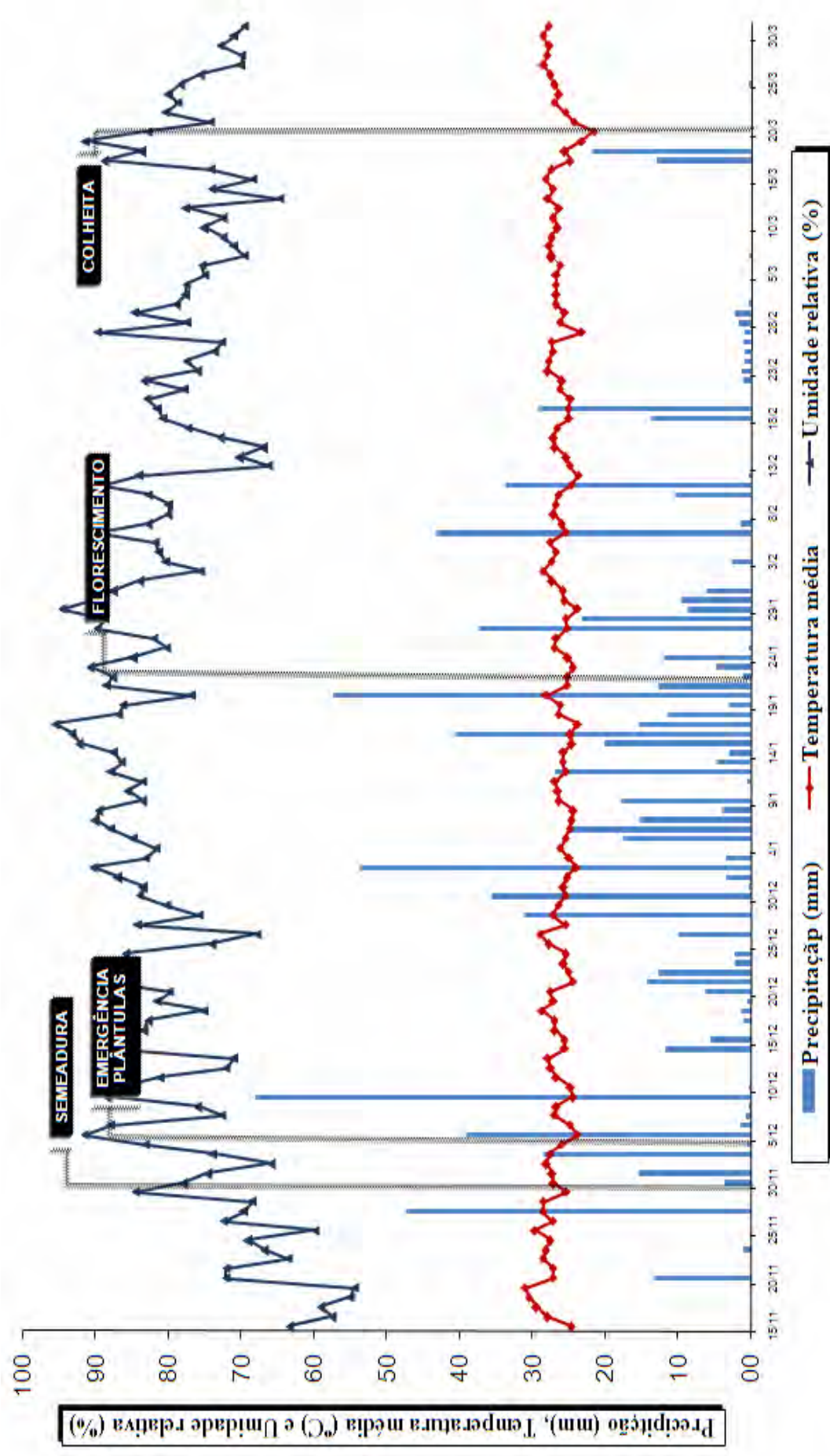
APÊNDICE E. (a) e (b) Detalhe da sonda na coleta da umidade do solo; (c) Detalhe da coleta da resistência mecânica; (d) e (e) Vista da coleta das amostras indeformadas do solo; e (f) Detalhe das amostras indeformadas do solo.



Apêndice F. Esquema de campo da malha experimental de coletas de dados sequencialmente, do ponto amostral 1 até o 120.

ID	X	Y	ID	X	Y	ID	X	Y
1	0,00	0,00	41	48,00	16,00	81	48,00	24,00
2	8,00	0,00	42	56,00	16,00	82	56,00	24,00
3	16,00	0,00	43	58,67	16,00	83	58,67	24,00
4	24,00	0,00	44	61,34	16,00	84	61,34	24,00
5	26,67	0,00	45	64,01	16,00	85	64,01	24,00
6	29,34	0,00	46	72,00	16,00	86	72,00	24,00
7	32,01	0,00	47	80,00	16,00	87	80,00	24,00
8	40,00	0,00	48	88,00	16,00	88	88,00	24,00
9	48,00	0,00	49	0,00	18,67	89	0,00	32,00
10	56,00	0,00	50	8,00	18,67	90	8,00	32,00
11	58,67	0,00	51	16,00	18,67	91	16,00	32,00
12	61,34	0,00	52	24,00	18,67	92	24,00	32,00
13	64,01	0,00	53	32,00	18,67	93	26,67	32,00
14	72,00	0,00	54	40,00	18,67	94	29,34	32,00
15	80,00	0,00	55	48,00	18,67	95	32,01	32,00
16	88,00	0,00	56	56,00	18,67	96	40,00	32,00
17	0,00	8,00	57	64,00	18,67	97	48,00	32,00
18	8,00	8,00	58	72,00	18,67	98	56,00	32,00
19	16,00	8,00	59	80,00	18,67	99	58,67	32,00
20	24,00	8,00	60	88,00	18,67	100	61,34	32,00
21	26,67	8,00	61	0,00	21,34	101	64,01	32,00
22	29,34	8,00	62	8,00	21,34	102	72,00	32,00
23	32,01	8,00	63	16,00	21,34	103	80,00	32,00
24	40,00	8,00	64	24,00	21,34	104	88,00	32,00
25	48,00	8,00	65	32,00	21,34	105	0,00	40,00
26	56,00	8,00	66	40,00	21,34	106	8,00	40,00
27	58,67	8,00	67	48,00	21,34	107	16,00	40,00
28	61,34	8,00	68	56,00	21,34	108	24,00	40,00
29	64,01	8,00	69	64,00	21,34	109	26,67	40,00
30	72,00	8,00	70	72,00	21,34	110	29,34	40,00
31	80,00	8,00	71	80,00	21,34	111	32,01	40,00
32	88,00	8,00	72	88,00	21,34	112	40,00	40,00
33	0,00	16,00	73	0,00	24,00	113	48,00	40,00
34	8,00	16,00	74	8,00	24,00	114	56,00	40,00
35	16,00	16,00	75	16,00	24,00	115	58,67	40,00
36	24,00	16,00	76	24,00	24,00	116	61,34	40,00
37	26,67	16,00	77	26,67	24,00	117	64,01	40,00
38	29,34	16,00	78	29,34	24,00	118	72,00	40,00
39	32,01	16,00	79	32,01	24,00	119	80,00	40,00
40	40,00	16,00	80	40,00	24,00	120	88,00	40,00

Apêndice G. Quadro com as coordenadas cartesianas dos pontos amostrais da malha experimental.



Apêndice H. Dados climatológicos coletados durante a condução do experimento.

