

FLÁVIO COUTINHO LONGUI

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO E
ATRIBUTOS FÍSICOS EM DOIS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

L858v
2015
Longui, Flávio Coutinho, 1987-
Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro e
atributos físicos em dois sistemas de preparo do solo / Flávio
Coutinho Longui. – Viçosa, MG, 2015.
xi, 83f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.77-83.

1. Ciência do solo. 2. Solos - Manejo. 3. Mecanização
agrícola. 4. Feijão - Plantio. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 631.4

FLÁVIO COUTINHO LONGUI

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO E
ATRIBUTOS FÍSICOS EM DOIS SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 24 de fevereiro de 2015.

Edney Leandro da Vitória

Luciano Baião Vieira

Nerilson Terra Santos
(Coorientador)

Domingos Sárvio Magalhães.Valente

Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A DEUS, que nos deu o dom da vida, nos preencheu com a liberdade, nos abençoou com a inteligência e nos deu força para lutarmos.

Aos meus adoráveis pais Renato Subtil Longui e Jussara Helena Coutinho Logui, minha querida avó Maria Anunciata Penina e minha amada tia Odila pela confiança, pelo amor, pelo carinho, pela amizade e pela dedicação incessante.

A meu irmão Bruno Coutinho Longui e sua esposa Erica Ribeiro Lima Longui pelo amor, pela amizade, pelo incentivo e força. Ao meu afilhado Guilherme com a luz da renovação e da vida

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao professor Haroldo Carlos Fernandes, pela oportunidade, pela orientação, pelo apoio e pelo incentivo.

Aos professores Mauri Martins Teixeira e Nerilson Terra Santos, pelas valiosas sugestões, pela colaboração e pelos conselhos.

A todos os amigos da área de Mecanização Agrícola, pela convivência e pelo auxílio na condução deste trabalho.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, na condução e na realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

FLÁVIO COUTINHO LONGUI, filho de Renato Subtil Longui e Jussara Helena Coutinho Longui, nasceu em Vitória, ES, no dia 21 de julho de 1987.

Em dezembro de 2008, concluiu o curso de Zootecnia no Centro Universitário Vila Velha. Em agosto de 2009, iniciou o curso de mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Mecanização Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa e submeteu-se à defesa em fevereiro de 2011.

Em março de 2012, iniciou o curso de doutorado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Mecanização Agrícola na Universidade Federal de Viçosa e submeteu-se à defesa em fevereiro de 2015.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Densidade do Solo	4
2.2. Resistencia do solo à penetração.....	6
2.3. Teor de água no solo	9
2.4. Porosidade.....	10
2.5. Macroporosidade	12
2.6. Microporosidade	12
2.7. Produtividade da cultura do Feijão.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. Características Gerais	16
3.2. Caracterização química e textural do solo da área experimental ..	17
3.3. Cultura.....	17
3.4. Implementos Utilizados	17
3.5. Coleta de Dados	17
3.5.1. Atributos Físicos do Solo.....	18
3.5.1.1. Teor de água no solo	18
3.5.1.2. Densidade do solo	18
3.5.1.3. Densidade das partículas	19

3.5.1.4.	Porosidade Total	19
3.5.1.5.	Resistência do solo à penetração.....	20
3.6.	Componentes do rendimento e produtividade dos grãos de feijão	21
3.7.	Análise dos Dados	22
3.7.1.	Estatística descritiva.....	22
3.7.2.	Teste de médias	23
3.7.3.	Correlação de Pearson	23
3.7.4.	Ajuste do Semivariograma	23
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1.	Caracterização da área experimental	25
4.1.1.	Caracterização Química e Textural do Solo	25
4.1.2.	Propriedades físicas do solo	26
4.2.	Análise Descritiva	27
4.2.1.	Sistema de plantio direto	27
4.2.2.	Sistema de preparo Convencional.....	30
4.2.3.	Comparação das médias dos atributos físicos do solo obtidas sob os sistemas de plantio convencional e plantio direto.....	32
4.2.4.	Componentes de produtividade de grãos cultura do feijão nos dois sistemas plantio	34
4.3.	Análise de correlação dos atributos da produtividade de grãos de feijão e das propriedades físicas do solo, em plantio direto	36
4.3.1.	Análise de correlação entre os atributos do feijão	36
4.3.2.	Análise de correlação dos atributos do feijão com os atributos físicos do solo.....	36
4.3.3.	Análise de correlação entre os atributos físicos do solo	37
4.4.	Análise de correlação dos atributos da produtividade de grãos de feijão e das propriedades físicas do solo, em sistema de plantio convencional.....	40
4.4.1.	Análise de correlação entre os atributos do feijão	40

4.4.2.	Análise de correlação dos atributos do feijão com os atributos físicos do solo	40
4.4.3.	Atributos físicos do solo versus atributos físicos do solo	40
4.5.	Análise dos Semivariograma simples da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio direto ...	43
4.6.	Análise dos Semivariograma simples da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com preparo convencional	50
4.7.	Validação cruzada dos semivariograma simples ajustados.	56
4.8.	Análise dos Semivariograma cruzados entre a produtividade de grãos do feijão e as propriedades físicas em um solo com plantio direto.	62
4.9.	Análise dos Semivariograma cruzados entre a produtividade de grãos do feijão e as propriedades físicas em um solo com sistema de preparo convencional.....	67
4.10.	Validação cruzada dos semivariograma simples ajustados.	71
5.	CONCLUSÕES	87
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Análise descritiva inicial de alguns atributos físicos do solo, em um sistema de plantio direto.....	36
Quadro 2 - Análise descritiva inicial de alguns atributos físicos do solo, em um sistema convencional.....	40
Quadro 3 – Comparação das médias dos atributos físicos do solo obtidas nos sistemas de cultivo convencional e plantio direto.....	42
Quadro 4 - Análise descritiva inicial da produtividade de grãos da cultura do feijão em diferentes sistemas de preparo do solo	44
Quadro 5 – Comparação entre médias dos sistemas de plantio convencional e direto para diferentes atributos	45
Quadro 6 – Correlações entre atributos da produtividade de grãos de feijão e das propriedades físicas do solo, mensurados sob sistema de plantio direto.....	48
Quadro 7 – Correlações entre atributos da produtividade de grãos de feijão e das propriedades físicas do solo, mensurados sob sistema de preparo convencional	51
Quadro 8 – Semivariograma simples da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio direto	52
Quadro 9 – Semivariograma simples da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio direto e seus mapas de produtividade.....	56
Quadro 10 – Semivariograma simples da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio convencional	59
Quadro 11 – Semivariograma simples da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com preparo convencional e seus mapas de produtividade	63
Quadro 12 - Validação cruzada dos semivariograma simples da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio convencional	67
Quadro 13 – Validação cruzada dos semivariograma simples da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio direto.....	67
Quadro 14 - Validação cruzada dos semivariograma simples da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio convencional	68
Quadro 15 - Validação cruzada dos semivariograma simples da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio direto.....	69
Quadro 16 – Semivariograma cruzados da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio direto	72
Quadro 17 – Semivariograma cruzado da produtividade de grãos do feijão com propriedades físicas em um solo com plantio direto e seus mapas de produtividade.....	74

Quadro 18 – Semivariograma cruzados da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com preparo convencional.....	77
Quadro 19 – Semivariograma cruzado da produtividade de grãos do feijão com as propriedades físicas em um solo com sistema convencional e seus mapas de produtividade.....	79
Quadro 20 – Validação cruzada dos semivariograma cruzados da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio convencional.....	82
Quadro 21 – Validação cruzada dos semivariograma simples da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio direto.....	83
Quadro 22 - Validação cruzada dos semivariograma cruzados da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio convencional.....	84

RESUMO

LONGUI, Flávio Coutinho, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2015. **Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro e atributos físicos em dois sistemas de preparo do solo**. Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Orientadores: Mauri Martins Teixeira e Nerilson Terra Santos.

É importante considerar a variabilidade espacial de solos sempre que a amostragem de campo for efetuada, pois pode indicar locais que necessitam de tratamento diferenciado quanto ao preparo, sem prejuízo para a representatividade, possibilitando maior detalhamento da área. Com o surgimento e desenvolvimento da agricultura de precisão, o estudo geoestatístico dos atributos físicos do solo com a relação da produtividade do feijão vem se intensificando. Observa-se que as variabilidades espaciais da densidade do solo, da porosidade do solo e da resistência do solo à penetração não ocorrem ao acaso. Objetivou-se com este trabalho determinar a influência dos diferentes preparos de solo na produtividade do feijoeiro e na variabilidade das propriedades físicas deste solo manejado. O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Viçosa (UFV), entre agosto e novembro de 2012. A área experimental possui um pivô central, totalizando quatro hectares, sendo utilizado os sistemas de plantio direto e preparo convencional há 13 anos consecutivos. Foram georreferenciados no mínimo 150 pontos amostrais para cada um dos sistemas de preparo de solo, com uma malha regular de 10x10m. Foi utilizado um aparelho receptor GPS Topográfico, Marca Magellan, Modelo Promark3, com correção diferencial pós-processada. Para avaliação dos atributos físicos do solo foram coletados densidade de solo, densidade da partícula, porosidade, teor de água no solo e resistência do solo a penetração, em três camadas de profundidade 0-0,10m; 0,10 – 0,20m; 0,20-0,30m. Para avaliação dos atributos de produção foram mensuradas número de vagens/planta e grãos/vagens, peso de grãos/planta, 100 grãos de feijões e a produtividade do feijoeiro. Foram encontradas correlações significativas entre os parâmetros estudados, muitas foram comprovadas nós semivariograma simples e cruzados encontrados. Pode-se concluir que os durante os anos

os 2 sistemas de plantio influenciaram nas características físicas do solo, sendo a maior produção encontrada no sistema de plantio direto.

ABSTRACT

Longui , Flávio Coutinho , D.Sc. , Universidade Federal de Viçosa, February, 2015. **Spatial variability of dry bean productivity and physical attributes in two soil preparation systems**. Adviser: Haroldo Carlos Fernandes. Co-advisers: Mauri Martins Teixeira and Nerilson Terra Santos.

It is important to consider the spatial variability of soil where the field sampling is made, it may indicate places that require differential treatment as the management , subject to the representation , allowing greater detail area. With the emergence and development of precision agriculture, the geostatistical study of soil physical attributes with bean productivity of the relationship has intensified . It is observed that the spatial variability of soil bulk density , soil porosity and soil resistance to penetration do not occur randomly . The objective of this work was to determine the influence of different soil management on common bean yield and variability of the physical properties of the soil managed. The experiment was conducted at the Federal University of Viçosa (UFV), between August and November 2012. The experimental area has a center pivot, totaling four acres, being used the no-tillage and conventional tillage for 13 consecutive years. In this work were georeferenced at least 150 sampling points for each of the soil tillage systems , with a regular grid of 10x10m . Topographical a GPS receiver, Magellan Brand, Model ProMark3 with post- processed differential correction was used . To evaluate the soil physical parameters were collected soil density , particle density , porosity, water content in the soil and soil resistance to penetration, in three layers deep 0-0,10m ; 0,10 – 0,20m ; 0,20-0,30m . To evaluate the production attributes were collected pods / plant, grains / beans , grains / plant, 100 grams of beans and productivity of beans . Positive and negative correlations for the parameters studied , many have been proven we found simple semivariogram and cross were found. It can be concluded that over the years the two tillage systems influence the physical characteristics of the soil , the highest production was found in the no-tillage system , even this being compressed .

1. INTRODUÇÃO

O uso da geoestatística no estudo da produtividade de uma cultura, na variabilidade do solo e no desenvolvimento do sistema radicular podem indicar alternativas de preparo, não só para reduzir os efeitos da variabilidade dos atributos do solo sobre a produção agrícola, como também para aumentar sua resposta às diversas práticas culturais empregadas (MONTANARI et al., 2010).

Conforme Martins et al. (2009), na estatística clássica ao se analisarem os atributos do solo, as consequências da heterogeneidade espacial sobre a representatividade dos valores médios são ignoradas. O método geoestatístico, além de considerar a dependência espacial desses valores, ainda proporciona meios para que sejam efetuados os respectivos mapeamentos, por meio da krigagem e, ou, da cokrigagem. A cokrigagem, é utilizada quando entre dois atributos quaisquer, do solo e, ou, planta, ocorrer dependência espacial tanto para cada um deles como entre eles. Uma vez conhecido o modelo da dependência espacial, é possível mapear a área estudada.

A variabilidade espacial de solos sempre existiu e deve ser considerada toda vez em que a amostragem de campo for efetuada, pois pode indicar locais que necessitam de tratamento diferenciado quanto ao preparo, sem prejuízo para a representatividade, possibilitando maior detalhamento da área (CAVALCANTE et al., 2011)

Com o surgimento e desenvolvimento da agricultura de precisão, o estudo geoestatístico dos atributos físicos do solo relacionado a produtividade do feijão vem se intensificando, conforme visto em diversos trabalhos publicados. Observa-se que as variabilidades espaciais da densidade do solo, da porosidade do solo e da resistência do solo à penetração não ocorrem ao acaso, mas apresentam correlação ou dependência espacial com a produção de feijão.

A modelagem geoespacial permite a descrição quantitativa da variabilidade espacial dos atributos do solo e a estimação não tendenciosa e com variância mínima de valores desses atributos em locais não amostrados (CARVALHO et al., 2011). Acessar esta variabilidade faz da geoestatística

uma ferramenta eficiente de suporte à decisão no preparo do solo, da água e das culturas.

O sistema de plantio é considerado uma fonte importante que altera a variabilidade espacial das propriedades físicas do solo. A análise da variabilidade do solo, por meio da geoestatística, pode indicar alternativas de preparo, não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo sobre a produção das culturas mas também para aumentar a possibilidade de estimar respostas das culturas sob determinadas práticas de preparo (CARNEIRO et al., 2009).

Os atributos físicos utilizados para avaliar a qualidade física do solo são a densidade do solo e porosidade, por serem atributos diretamente relacionados ao crescimento das plantas e de fácil determinação (LIMA et al., 2007). Carneiro et al.(2009) e Lima et al.(2012) citam que além deste, outro fator importante para avaliar o sistema de preparo do solo é a resistência do solo à penetração, pois apresenta correlação com a produtividade da cultura. A resistência do solo à penetração apresenta maiores correlações com o crescimento radicular (CARVALHO et al., 2006) e como indicador mais sensível à compactação do solo (FREDDI et al., 2009), comparado com a densidade do solo.

De acordo com Vitória et al. (2012) em relação às propriedades físicas do solo, a maioria dos estudos tem demonstrado uma ampla diversidade de resultados, variando de local para local entre mesmas culturas, encontrado ou não a continuidade espacial, muitas vezes sendo associadas ao sistema de preparo de solo e das culturas adotadas no sistema.

Para aplicar as técnicas de agricultura de precisão é importante conhecer as características de solo, o clima, a cultura em locais específicos. O conhecimento da variabilidade espacial permite uma descrição da correlação espacial entre as variáveis. A descrição desta correlação é realizada através do ajuste de um modelo de semivariograma cruzado.

Neste trabalho estuda-se a dependência espacial entre as propriedades físicas de solo e a produtividade do feijoeiro, levando em consideração o sistema de plantio. A hipótese formulada é a de que existe estrutura de dependência e correlação espacial entre as variáveis, sendo assim possível o seu estudo, utilizando ferramentas da geoestatística.

Portanto, este trabalho teve como objetivo determinar a influência dos diferentes preparos de solo na produtividade do feijoeiro e na variabilidade das propriedades físicas deste solo manejado.

E como objetivos específicos:

- a) Analisar as propriedades físicas do solo, componentes da produção, produtividade do feijoeiro, em cada um dos dois sistemas de plantio;
- b) Correlacionar os componentes da produção do feijoeiro com as propriedades físicas do solo;
- c) Modelar a dependência espacial para os parâmetros;
- d) Gerar mapas de interpolação para os parâmetros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Densidade do Solo

Pesquisas tem demonstrado que com o aumento da densidade do solo, ocorre uma diminuição da porosidade total, macroporosidade, condutividade hidráulica e da resistência mecânica à penetração do solo. Tal fato pode desencadear, no geral, diminuição da produtividade agrícola (MONTANARI et al., 2010; CAVALCANTE et al., 2011).

Mazuarana et al. (2011) ao pesquisarem o efeito de diversos sistemas de preparo de solo nas propriedades físicas do solo não encontram diferenciação estatisticamente a 5% de significância pelo teste Tukey entre a densidade de um solo com plantio direto ($1,42 \text{ kg dm}^{-3}$) para um solo com preparo convencional ($1,73 \text{ kg dm}^{-3}$), porém encontrou diferença significativa a 5% de significância pelo teste Tukey depois de 2 anos consecutivos realizando o mesmo sistema, com valores médios de $1,15$ e $1,53 \text{ kg dm}^{-3}$, para plantio direto e sistema convencional respectivamente.

Ao estudarem a variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e preparos em um Latossolo Vermelho, em uma malha regular de $2 \times 2\text{m}$, totalizando 64 pontos, Cavalcante et al. (2011), encontram que valores elevados de densidade do solo restringem o crescimento radicular do feijão, diminuindo a produtividade de grãos. Ainda de acordo com estes autores os valores da densidade do solo ficaram em torno de $3,05$ a $3,45 \text{ kg dm}^{-3}$ e $2,81$ a $2,92 \text{ kg dm}^{-3}$ para solos com plantio direto e convencional, respectivamente, até $0,2 \text{ m}$ de profundidade.

Em pesquisa conduzida por Montanari et al. (2010) em uma cultura de feijão irrigado em sistema de plantio direto em um Latossolo Vermelho distroférico, com uma malha regular de $11 \times 11\text{m}$ em uma área de cerca de 2 ha e com 162 pontos amostrais os autores encontraram valores médios para a densidade em duas faixas de profundidade, $0-0,1\text{m}$ e $0,1-0,2\text{m}$, com valores médios de $1,36 \text{ kg dm}^{-2}$ e $1,41 \text{ kg dm}^{-2}$ uma densidade para este solo seria em torno de $0,98 - 1,13 \text{ kg dm}^{-2}$, e apresentou uma correlação negativa com a produtividade do feijão. Assim tornou-se um fator limitante para máxima expressão da produtividade do feijão, prejudicada tanto pelo

deficiente crescimento radicular, uma vez que, conforme Vieira et al. (2006), até 87 % de suas raízes situam-se nos primeiros 0,10 m.

Conforme descrito por Montanari et al. (2010) este trabalho só encontrou dependência espacial na densidade do solo na faixa superficial, com uma dependência espacial moderada, alcance de 10,5 m, efeito pepita de 0,0004 e patamar de 0,0012.

Em uma cultura de feijão irrigado, agora trabalhando em um sistema de preparo convencional em um Latossolo Vermelho distroférico, em uma área de 1,8ha com uma malha regular de 7,5 x 7,5, os pesquisadores Montanari et al. (2009), encontraram valores elevado para a densidade nas duas faixas trabalhadas, com média de 1,49 kg dm⁻² e 1,28 kg dm⁻², mostrando evidente o estado de compactação superficial no o solo. Tais valores foram semelhantes em àqueles obtidos por Souza et al. (2004), que encontrou valores de 1,52 kg dm⁻² e 1,27 kg dm⁻², distanciando dos valores encontrados por Carvalho et al. (2002), que possuiu menores valores, que foi explicado pois o solo estudado não apresentava um histórico de cultivos ao longo do ano, e sim uma área experimental.

Trabalhos conduzidos por Montanari et al. (2009) e Souza et al. (2004), encontraram correlação negativa entre a produtividade da cultura do feijão e a densidade do solo. Montanari et al. (2009) encontraram variabilidade espacial nas duas camadas estudadas, com alcance de 55,4 e 71,3 m, com efeito pepita de $3,10 \times 10^{-3}$ e $1,92 \times 10^{-3}$, patamar de 6×10^{-3} e $3,85 \times 10^{-3}$ apresentando modelos gaussiano e exponencial, respectivamente para as faixas de 0-0,1m e 0,1-0,2m. Os valores foram superiores aos encontrados por Souza et al. (2004), porém ambos encontraram dependência espacial forte para a variável.

Estudando a variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas do solo em sistema de plantio direto e preparo convencional, ambas com 3 anos contínuos com os dois preparos, em uma área de 3 ha com uma malha regular de 12 x 12 totalizando 165 pontos, Schaffrath et al. (2008) encontram valores médios de 1,11 e 1,20 kg dm⁻³ e CV de 6,62 e 5,75%, para plantio direto e preparo convencional.

A análise do semivariograma do mesmo trabalho anterior indicou que as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial nos dois sistemas de preparo de solo. O alcance da dependência espacial da densidade do solo foi de 8,5 m no plantio direto e 7,5 m no preparo convencional, de acordo com o encontrado Grego e Vieira (2005), maior homogeneidade desta variável neste sistema de preparo, possivelmente foi devido ao menor revolvimento do solo.

Os semivariograma cruzados do estudo de Schaffrath et al.(2008) mostraram correlações negativas entre densidade do solo e porosidade total. Esse resultado mostra que a continuidade espacial do semivariograma cruzado diferenciou-se entre as variáveis nos sistemas de preparo de solo no plantio direto e preparo convencional, apresentando maior alcance no plantio direto (17,0 m) do que no preparo convencional (9,1 m). Esses resultados confirmam maior continuidade espacial no plantio direto imposta pela maior homogeneização da porosidade do solo.

2.2. Resistência do solo à penetração

Os sistemas de plantio têm provocado a compactação superficial do solo, que está associada ao tráfego de máquinas agrícolas e ao não revolvimento do solo, segundo Cardoso et al. (2006), Hamza e Anderson (2007) e Carvalho et al. (2011). Em consequência, há aumento da resistência mecânica do solo e redução da macroporosidade (STRECK et al., 2004), da porosidade e da disponibilidade de água, reduzindo, conseqüentemente, o crescimento e o desenvolvimento radicular das culturas (SILVA et al., 2002).

A maioria dos trabalhos adotam 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.

Valores de resistência mecânica do solo à penetração acima de 2,1 MPa provocaram redução na produção de grãos, matéria seca e raízes na

cultura do feijoeiro. (ROQUE et al., 2008; CARNEIRO, et al., 2009; MAZURANA et al., 2011; CARVALHO et al., 2011)

De acordo com Carneiro et al. (2009) e Tavares e Tessier (2009) valores de resistência a penetração maiores que 2,00 MPa afetaram a produtividade. Segundo Carvalho et al. (2011) quando variaram entre 1,29 e 2,87 MPa, a resistência a penetração teve uma correlação negativa com a produtividade de grãos de feijão.

Em um estudo sobre a resistência a penetração, em uma área com cerca de 1ha com uma malha regular de 6x6m, totalizando 60 pontos, em um feijoeiro Roque et al. (2008) encontraram valores médios da resistência do solo ao penetrômetro de 2,79 e 5,32 MPa, para as safras de 2005 e 2006, ou seja, superiores a 2,1 MPa, citado acima como restritivo ao crescimento radicular e limitante ao rendimento das principais culturas. O sistema de semeadura direta foi implantado somente no ano de 2003, ou seja, ainda em fase de estabilização, a resistência do solo a penetração aumentou cerca de 37% no terceiro ano do sistema. Verificou-se que os valores de coeficiente de variação (CV) foram baixos, ou seja, 12 e 13%, respectivamente.

Valores semelhantes de CV foram obtidos nos trabalhos de Santos et al. (2005), Carvalho et al. (2006) e Freddi et al. (2006), ao estudarem a correlação da produtividade com a resistência do solo ao penetrômetro sob diferentes sistemas de preparo do solo.

Comparando a resistência a penetração de dois sistemas de preparo de solo, convencional e plantio direto em uma cultura de feijão em uma área utilizada a 8 anos com estes preparos, amostrando 150 pontos em uma malha regular de 10 x 10m, Freddi et al. (2006) encontraram valores diferentes a 5% de significância para o teste Tukey em todas as faixas de profundidade estudadas para os dois preparos. Os valores médios da resistência a penetração para o plantio direto foram 6,74; 8,27; 6,37; 4,77 MPa e para o sistema convencional foram 2,18; 4,26; 3,37 e 2,69 MPa nas faixas de 0 a 0,4m. A variável apresentou uma correlação negativa com a produtividade de grãos, sendo assim o sistema convencional apresentou maior produtividade, porém não foi diferente estatisticamente.

Trabalhando em sistema de plantio direto, em uma malha de 15 x 15m, totalizando 75 pontos amostrais, Carvalho et al. (2006), encontraram valores médios de resistência a penetração de 1,3; 2,3; 2,5; 2,8; 2,9 e 2,7 MPa, respectivamente, na faixa de 0-0,30 m. O valor na primeira faixa menor que os restantes sendo, inclusive, menor que o valor de 2,1 MPa devido, à maior quantidade de matéria orgânica presente na camada superficial. Em contrapartida, nas profundidades restantes os valores foram superiores àqueles de 2,0 MPa, denotando o clássico problema de compactação do solo que o sistema proporciona.

Santos et al. (2006) trabalhando em um sistema de plantio direto na cultura do feijão evidenciaram que todos os atributos de resistência a penetração apresentou dependência espacial, comprovados pelos semivariograma, mostrando mais uma vez que a distribuição destes atributos no espaço não é aleatória, uma vez que suas classes de dependência espacial variaram de 48,4 % (moderada) a 77,2 % (forte). Esses valores foram relativamente superiores àqueles obtidos por Roque et al. (2006), os quais foram, respectivamente, de 26 a de 58 % e 50 a 53 %, assim como inferiores aos de Carvalho et al. (2002), que foram de 73 a 90 %.

Em um sistema de plantio direto, o modelo encontrado por Souza et al. (2001), Carvalho et al. (2006) e Santos et al. (2006), foi o esférico, diferente do encontrado por Carvalho et al. (2002), que utilizaram o modelo gaussiano. Com relação ao alcance da dependência espacial, a resistência mecânica apresentou valores entre 2,2 m e 35,8 m para as faixas estudadas, apresentando dependência espacial entre moderada e forte.

Em um trabalho para a cultura do feijão irrigada em um sistema de plantio direto, Montanari et al. (2010) encontraram valores médios para a resistência a penetração em duas faixas de profundidade, 0-0,1m ; 0,1-0,2m; 0,2-0,3m e 0,3-0,4m, com valores médios da resistência do solo à penetração de RP1 = 1,56 MPa; RP2 = 2,62 MPa; RP3 = 3,24 Mpa. Esse fato tornou-se um fator limitante para máxima expressão da produtividade do feijão, prejudicada pelo deficiente crescimento radicular como pelas consequentes como, absorção nutricional.

Já Freddie et al. (2006), Souza et al. (2006) e Veiga et al.(2007) mostraram que a resistência à penetração geralmente aumenta com a compactação do solo devido ao concomitante incremento da densidade e com o decréscimo da umidade. Dessa forma, seu aumento é indesejável por causar redução do crescimento radicular das plantas. Portanto, a resistência mecânica do solo à penetração tem apresentado elevada correlação com a produtividade vegetal. Freddi et al. (2006), estudando a produtividade do feijoeiro em função da resistência à penetração, encontraram representável correlação entre os dois atributos estudados, resultado que Mazuarana et al. (2011) também encontrou.

Em solos com diferentes usos e preparos encontrou valores médios de 3,76; 4,03; 2,8; 2,19 MPa com plantio direto, 4,53; 4,46; 1,47; 1,12 para preparo convencional nas faixas de 0 - 0,60m, apresentando CV moderados, apenas nas faixas de 0,30-0,45 e 0,45-0,60 no sistema de plantio direto o CV foi considerado baixo. Uma maior compactação nas camadas superficiais do solo provavelmente podem provocar uma menor produtividade do feijão (CARVALHO et al, 2011).

Estes mesmos pesquisadores encontraram um modelo esférico e uma dependência espacial forte para todos. Os maiores alcances foram encontrados no sistema de plantio direto (9,95; 10,15; 8,42; 10,66 m) mostrando mais uma vez que este sistema cria ao longo do tempo uma estabilização maior quando comparado com o preparo convencional (6,91; 6,83; 4,64; 4,33).

2.3. Teor de água no solo

Em um sistema de plantio convencional na cultura do feijão irrigada, Roque et al. (2008) encontraram valores médios de teor de água de 16,02% e um CV de 9%, com uma correlação positiva com a produtividade de grãos. O semivariograma apresentou um modelo esférico com alcance de 18,72m, um efeito pepita de 3,25 e um patamar de 9,81. Resultados semelhantes ao encontrado por Santos et al. (2005). Carvalho et al. (2002) trabalhando também com feijão irrigado porém em um sistema de plantio direto, encontrou valores médios maiores, 29,60% com um CV de 15%, o atributo apresentou uma alta correlação com a produtividade de grão.

Para um preparo convencional, nas faixas de trabalho 0 – 0,60m, Carvalho et al.(2011) encontraram valores de 20, 23, 24 e 20 % de teor de água no sistema de plantio direto e 17, 19, 20 e 21 %, apresentando CV baixos. Encontraram um modelo esférico e um a dependência espacial forte. Os maiores alcances foram encontrados no sistema de plantio direto (6,41; 5,32; 4,75; 5,83m), assim como para a resistência a penetração, mostrando mais uma vez que o sistema de plantio direto cria ao longo do tempo uma estabilização maior quando comparado com o preparo convencional (4,05; 6,52; 6,53; 5,51).

Já para um preparo no plantio direto os pesquisadores Carvalho et al. (2006) encontraram valores médios de 16,0; 16,1; 16,5; 16,5; 17,1; 17,2; 16,7, nas faixas de 0-0,5; 0-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20; 0,20-0,25; 0,25-0,30, todos os CV foram classificados como baixo. Não apresentaram correlação significativa com a produtividade de grãos de feijão e também não apresentaram distribuição espacial. Resultados diferentes dos vistos nesta revisão.

2.4. Porosidade

Trabalhando com plantio direto e convencional em uma cultura de feijão, Schaffrath et al. (2008) encontraram que a porosidade total apresentou dependência espacial nos dois sistemas de preparo estudados, com alcance de 9,4 e 11,5 m, respectivamente no plantio direto e preparo convencional, com valores médios de 0,3278 e 0,412 km m^{-3} nas faixas de 0-0,1m e 0,1-0,2m. O maior alcance do semivariograma no preparo convencional indica maior semelhança na distribuição dos poros, visto que a porosidade total é fortemente influenciada pelo sistema de preparo de solo, conforme Tormena et al. (2008).

A confrontação dos semivariograma cruzados revela que no plantio direto são altamente dependentes da densidade do solo com alcance (12,3 e 8,1 m) superior ao do preparo convencional (10,5 e 7,5 m). Isto significa que a ausência de revolvimento mecânico no terço médio da camada de 0–15 cm (5-10 cm) de profundidade sob o plantio direto manteve correlação

espacial negativa entre densidade do solo e porosidade total com maior alcance.

Existe uma homogeneização do processo de formação de poros durante o revolvimento do solo pela aração e gradagem, o que pode justificar os resultados obtidos (GREGO & VIEIRA, 2005). No plantio direto, a dinâmica de formação de poros passa por processos biológicos como o crescimento de raízes e a atividade de organismos no solo (Willians & Weil, 2009), o que promove uma maior variabilidade no espaço, indicada pelo menor alcance do semivariograma.

De modo semelhante, Sepaskhah et al. (2009) mostraram resultados de maior homogeneidade de porosidade em solos com sistema convencional, e uma correlação positiva com o teor de água encontrada no solo. Mais neste estudo uma compactação no solo com preparo convencional inibiu a produtividade da cultura. Bem parecido com o trabalho de Veiga et al. (2007).

A distribuição de tamanho de poros não apresentou diferença significativa, em comparação do sistema de plantio direto e convencional, em trabalho dos pesquisadores Mazuarana et al. (2011). Esses dados concordam com os de Camara & Klein (2005), que, estudando o plantio direto como técnica de conservação do solo e da água em um Latossolo Vermelho, apontam não haver diferença na porosidade total em relação ao sistema de preparo.

No trabalho conduzido por Montanari et al. (2010) a porosidade apresentou valores médios de $0,532 \text{ kg m}^{-3}$, para o sistema de plantio direto, ficando, nesse caso, de forma semelhante às obtidas por Souza et al. (2006). Apresentando uma correlação positiva com a produtividade de grãos de feijão. Nas três faixas (0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3) estudadas apenas a segunda apresentou efeito pepita puro, a primeira um modelo gaussiano com um alcance de 24,3m e o segundo um modelo exponencial com um alcance de 39m, valores superiores ao encontrados por Souza et al. (2006).

2.5. Macroporosidade

A macroporosidade apresentou alcance da dependência espacial de 8,0 m no plantio direto e 11,5 m no preparo convencional, em trabalho conduzido por Scraffrathe et al. (2008). A entrada de ar no solo, em baixas tensões, ocorre nos macroporos, cuja média é maior no plantio direto comparado ao preparo convencional. A redução dos valores da macroporosidade no preparo convencional provavelmente decorre do solo mais compactado resultante da desagregação do solo pelo preparo e pelo uso mais intenso de máquinas e implementos. Além disso, uma perda na estabilidade estrutural do solo, associada à redução dos teores de matéria orgânica, estabelece maior compactação do solo associada à redução da capacidade de suporte de carga do solo.

O estudo dos semivariograma cruzados mostraram correlações espacialmente negativas entre densidade do solo e macroporosidade. Os semivariograma cruzados entre densidade do solo e macroporosidade; apresentou maior alcance no preparo convencional (16,0 m) do que no plantio direto (9,2), correspondendo ao padrão de continuidade espacial de cada uma dessas propriedades físicas do solo no preparo convencional e plantio direto.

A macroporosidade, encontrada pelos pesquisadores Montanari et al. (2009), em um solo com plantio direto, nas camadas de 0,0 - 0,40m de profundidade, valores médios de 0,085 e 0,143 m³ m⁻³. Desta forma, houve uma baixa correlação negativa com a produtividade de grãos de feijão. Isto por que, conforme preceitos de Kiehl (1979), nas profundidades de 0 – 0,20m , onde se concentra a maior parte do sistema radicular do feijão, o solo apresentou-se compactado e, portanto, em desacordo com o que seria um solo tipicamente ideal, ficando tal magnitude de forma semelhante às obtidas por Souza et al. (2001), Carvalho et al. (2002) e Megda et al. (2008).

2.6. Microporosidade

A microporosidade apresenta no trabalho de Scraffrath et al. (2008) apresentou uma dependência espacial com alcance de 7,5 m no plantio direto e 10,5 m no preparo convencional. A microporosidade do solo é uma

variável que está ligada diretamente à densidade do solo. O preparo do solo pode modificar proporcionalmente o volume de microporos em razão da alteração na quantidade de macroporos, tornando assim o solo mais ou menos homogêneo e conseqüente-mente com diferentes amplitudes da dependência espacial.

Os semivariograma cruzados destes mesmos pesquisadores mostraram correlações espacialmente; e positivamente entre densidade do solo e microporosidade do solo. Os semivariograma cruzados entre densidade do solo e microporosidade apresentou maior alcance no preparo convencional (17,0 m) do que no plantio direto (9,0), novamente correspondendo ao padrão de continuidade espacial de cada uma dessas propriedades físicas do solo no preparo convencional e plantio direto.

Na pesquisa de Montanari et al. (2009) os valores médios de microporosidade ficaram entre 0,340 e 0,351 m^3m^{-3} , ficando semelhante com os valores obtidos por Souza et al. (2001), Carvalho et al. (2002) e Megda et al. (2008). Os modelos de semivariograma encontrados foram esféricos, apenas a faixa de 0,20 - 0,30m apresentou efeito pepita puro, com um alcance de 70,2m, na faixa de 0 – 0,10m, e 67,8, na faixa de 0,10-0,20m. Valores bem superiores aos encontrado por Scraffrath et al. (2008) e Megda et al. (2009)

2.7. Produtividade da cultura do Feijão

A demanda nacional do feijão cresceu em torno de 13%, em relação à safra de 2009/10 para 2010/11. A produção brasileira da safra de 2013/14 é de 1.024 mil ton^{-1} , com previsão de 1.044mil ton^{-1} para a safra de 14/15 (CONAB,2015). Está produtividade é baixa, podendo chegar a 3.000 $kg ha^{-1}$ (CARNEIRO et al.,2009; CAVALCANTE et al., 2011).

Tendo por base os estudos geoestatísticos que analisaram as correlações entre a produtividade média do feijão e os atributos do solo, a produtividade média obtida no trabalho de Montanari et al. (2010) foi de 2.200,9 $kg ha^{-1}$. Já Martins et al. (2009) alcançaram produtividade de 2.594

kg ha⁻¹, Carvalho et al. (2006) encontraram 1.809. Todos os trabalhos ficaram na média nacional, que é na faixa de 1.000 a 3.000 kg há⁻¹, para as condições de feijão irrigado com elevado nível tecnológico (MARTINS et al. ,2009).

O estudo do semivariograma apresentou um modelo esférico, com alcance de 23m, efeito pepita de $9,8 \times 10^{-3}$ e um patamar de $5,85 \times 10^{-2}$, com uma dependência espacial forte. Valores de alcance foram maior do que os obtidos por Santos et al. (2005), que trabalhou com um sistema de plantio convencional, e menor que o obtido por Megda et al. (2008)

No trabalho conduzido por Montanari et al.(2009) a produtividade média de grãos de feijão foi de 2,836 t ha⁻¹, valor superior aos de Freddi et al. (2006), Santos et al.(2005) e Megda et al. (2008). Segundo o critério de classificação da produtividade do feijão o elevado valor da produtividade média de grãos, observado no trabalho, não foi afetada pela relativa resistência ao estado de compactação no qual o do solo se encontrava, uma vez que sua, no geral, foi substancialmente alta na camada de 0,3-0,50 m, onde se concentra a menor parte do sistema radicular da cultura. Por outro lado, há temos que considerar que o foi feijão irrigado sob pivô central.

Em trabalho desenvolvido em um sistema de plantio direto conduzido pelos pesquisadores Carvalho et al.(2006) foram encontrados valores de 1,679 kg ha⁻¹, com um CV de 15,2%, uma das mais baixas presentes nesta revisão. O estudo do seu semivariograma apresentou um modelo esférico com alcance de 20,2m. condizendo com os trabalhos até agora apresentados.

Ainda de acordo com os mesmos autores os modelos dos semivariograma ajustados para realização da krigagem apresentaram-se de forma excelente todos os parâmetros estudados. Constatou-se também que o ajuste do semivariograma da produtividade de grãos do feijão foi superior ao das RPs, uma vez que o valor do seu coeficiente linear foi o que mais se aproximou de zero.

Em um estudo sobre a variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada, com 75 pontos amostrais em uma malha regular de

12 x 12 m, com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema de semeadura direta, Dalchiavon et al. (2011) encontrarem valores altos para a produtividade de grãos do feijão, em torno de 3.044 kg ha⁻¹. O semivariograma estudado apresentou um modelo exponencial, com dependência espacial média e com alcance de 28,5m, efeito pepita de 1,46 x 10⁵ e patamar de 3,27 de 3,27 x 10⁵.

Freddi et al. (2006) ao estudarem a produtividade do feijão em dois sistemas de cultivo, encontrou os seguintes valores médios: 2.667 e 2.594 kg ha⁻¹, ambos foram iguais estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. Agora analisando a variabilidade espacial da produtividade encontrou modelo esférico para ambos os sistemas porém com um alcance maior para o plantio direto (22,3m) em relação ao preparo convencional(10m).

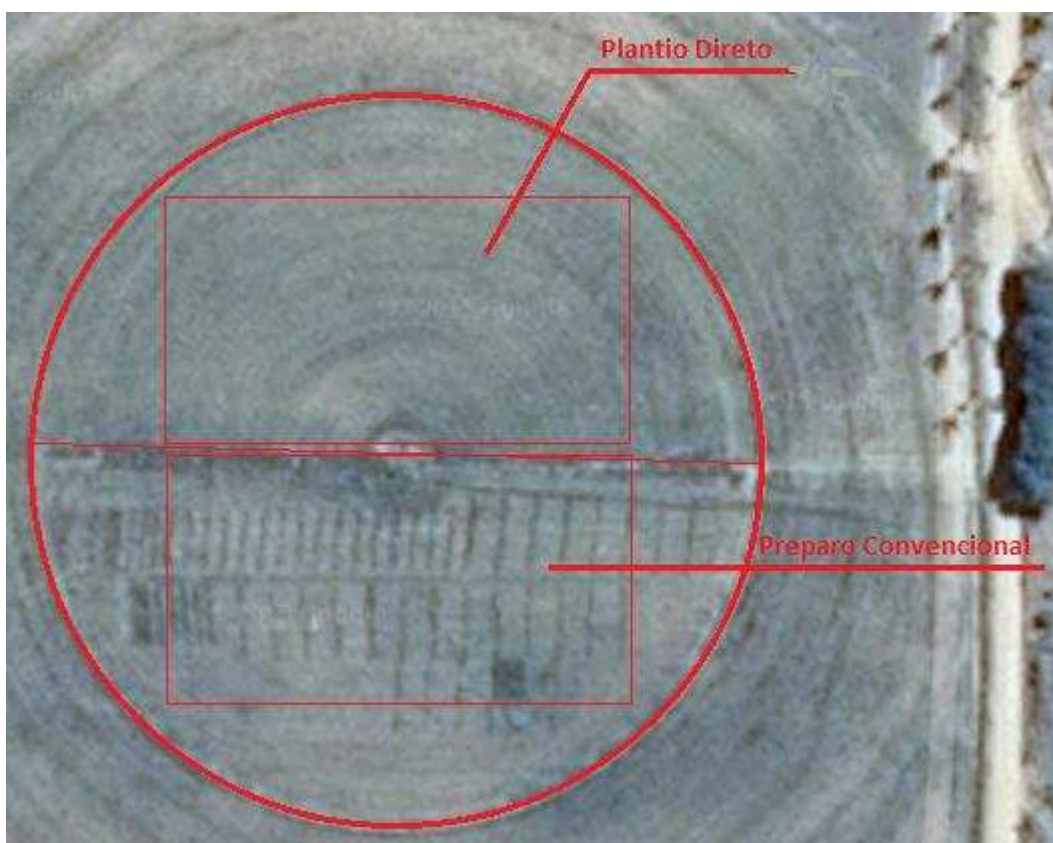
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Características Gerais

O experimento foi conduzido numa área pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa – UFV, localizada no município de Coimbra, MG, à altitude de 716 m, longitude de 42° 48'W e latitude de 20°51'S. O solo da área experimental é um Argissolo Vermelho Amarelo câmbico, segundo classificação do Sistema Brasileiro de Classificação do Solo da EMBRAPA (1999).

O relevo da região é montanhoso, e o clima é denominado Cwa (mesotérmico úmido) com verões quentes e invernos secos, classificado de acordo com Köppen. A temperatura máxima e a temperatura mínima são 26,1 e 14,0 °C, respectivamente.

A área experimental possui um pivô central, totalizando quatro hectares, sendo 2 hectares com plantio direto, e 2 hectares de preparo convencional. Os dois sistemas são implementados há cerca de 13 anos consecutivos.



3.2. Caracterização química e textural do solo da área experimental

As análises da composição química e textural foi realizada nos Laboratórios de Análises Físicas e Químicas de Solo do Departamento de Solos e no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

3.3. Cultura

A cultura do feijão foi implantada em dois sistemas de preparo do solo, plantio direto e preparo convencional do solo, com o feijão do cultivar Ouro Vermelho, espaçados a 0,45 cm entre fileiras e com uma população de 10 a 12 plantas m⁻¹.

3.4. Implementos Utilizados

Para a realização do experimento foi utilizado um trator da marca Massey-Ferguson MF – 4297, com tração dianteira auxiliar, potência de 110CV a 1400 RPM, turbo aspirado. Para o preparo do solo foram utilizados um arado de disco fixo de Marca Baldan, com largura de corte de 0,9 a 1m, três discos de 30 polegadas, com massa total de 600kg e uma grade aradora niveladora Marca Baldan, tipo offset, com largura de trabalho de até 2,5m, com 15 discos de ataques de 20 polegadas. Para a semeadura foi utilizado uma semeadora de marca Semeato Modelo Drill 21, com 08 linhas de grãos graúdos, com capacidade total de 1304kg de sementes e 1096kg de adubo.

3.5. Coleta de Dados

Neste trabalho foram georreferenciados no mínimo 150 pontos amostrais para cada um dos sistemas de preparo de solo, com uma malha regular de 10x10 m. Foi utilizado um aparelho receptor GPS Topográfico, Marca Magellan, Modelo Promark3, com correção diferencial pós-processada. Para correção diferencial foram utilizados os dados da base da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) do IBGE (Instituto

Brasileiro de Geografia e Estatística), localizada no município de Viçosa, MG. Utilizando-se o *datum* SIRGAS 2000 com a correção sendo realizada utilizando-se o programa computacional GNSS *Solutions* fornecido pelo fabricante do receptor GPS.

3.5.1. Atributos Físicos do Solo

O sistema radicular do feijão fica em sua maioria situado nos primeiros 0,20 m de profundidade, sendo de 62-93% nos primeiros 0,10 m, como constatado por Montanari et al.(2010). De posse deste fato toda a caracterização física do solo foi realizada em três faixas de profundidade, 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30m

3.5.1.1. Teor de água no solo

Para a medição do teor de água no solo foi utilizado o método gravimétrico, com base na massa de solo seco em estufa à temperatura entre 105 a 110° C até atingir massa constante, conforme EMBRAPA (1997). Na condução do experimento, foram realizadas cinco amostragens de solo, sendo o teor de água, em cada um dos pontos georreferenciados à média destas amostras, espaçados entre si a cada dois metros (REIS et al.,2009; CAMARGO et al., 2010).

3.5.1.2. Densidade do solo

Para a determinação da densidade do solo, foram coletadas cinco amostras, diferentes das utilizadas para teor de água. A densidade de solo de cada ponto georreferenciado é a média das cinco amostras. (KLEIN et al, 2008; REICHERT et al. 2009; LIMA et al.2012), utilizando-se o método do anel volumétrico, descrito pela EMBRAPA (1997), com auxílio de um trado para amostra indeformada.

As amostras foram coletadas, de acordo com a Figura 1, e acondicionadas em cápsulas de alumínio, lacradas com fita plástica até a chegada ao laboratório. No laboratório, as amostras foram pesadas em balança digital de precisão (0,01g) e conduzida à estufa com temperatura entre 105 a 110°C em lata de alumínio numeradas, aonde permaneceram

até que verificasse a massa constante. A densidade do solo foi determinada utilizando a Equação 1:

$$D_s = \frac{M_s}{V_a} \quad \text{eq. 1}$$

1

em que

D_s = densidade do solo (kg m^{-3});

M_s = massa do solo seco em estufa a 105°C (kg); e,

V_a = volume do anel (m^3).

3.5.1.3. Densidade das partículas

A densidade das partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico, proposto por Kiehl (1979), que é definida como sendo a relação entre a massa e o volume de sólidos. As amostras foram coletadas em latas de alumínio e secar na estufa a 105°C até verificar massa constante. A densidade de partículas foi calculada pela Equação 2.

$$D_p = \frac{(PB+S-PB)}{\left[\frac{50-(PB+S+A-PB+S)}{DA} \right]}$$

eq.2

em que

D_p = densidade da partículas, (Kg m^{-3});

PB = o peso do balão volumétrico de 50ml;

S = peso do solo seco e resfriado (kg);

A = volume de álcool gasto para completar o balão volumétrico com solo(ml);

Foram coletadas cinco amostras para cada faixa de profundidade distante de dois metros uma das outras, em cada ponto georreferenciado (KLEIN et al, 2008; LIMA et al., 2012).

3.5.1.4. Porosidade Total

A porosidade total foi determinada pelo método indireto (KLEIN et al., 2008; LIMA et al., 2012), utilizando a Equação 3.

$$Pt = \left(1 - \frac{Ds}{Dp}\right) \times 100$$

eq.3

em que

Pt = porosidade total (%);

Ds = densidade do solo (kg m^{-3}) e

Dp = densidade das partículas (kg m^{-3}).

3.5.1.5. Resistência do solo à penetração

Foi utilizado um penetrômetro, modelo PNT-2000 para determinar a resistência do solo à penetração. A coleta de dados foi realizada antes e após a cultura do feijão ser implementada, os dados foram coletados simultaneamente às mostras de solo para a determinação do teor de água.

Foram realizadas três medições de resistência do solo à penetração distante de dois metros uma das outras (REIS et al., 2009; CAMARGO et al, 2010). Os valores de resistência do solo à penetração foram apresentados em forma de gráficos e expressos em MPa.

A Tabela 1 traz maiores informações sobre a penetrômetro digital que será utilizado no experimento.

Tabela 1 - Características do penetrômetro PNT-2000

Tipo	Parâmetro
Alimentação	Bateria interna recarregável de 3,6 Vcc
Tipos de cone	De acordo com a norma ASAE S313.3: - Cone tipo 1 (grande): 323 mm ² - Cone tipo 2 (médio): 129 mm ² Não normalizados - Cone tipo 3 (pequeno): 71,25 mm ²
Profundidade máxima de penetração	0,6 m
Medição de força	Célula de carga de capacidade máxima de 1.000 N
Medição de profundidade	Por meio de sensor ultra-sônico, com precisão de 0,001 m
Capacidade de memória	768 ensaios

Fonte: DLG (2006).

3.6. Componentes do rendimento e produtividade dos grãos de feijão

Quando o feijão atingiu o estágio da maturação fisiológica foram colhidos manualmente plantas inteiras em uma área de coleta de dados de 2x2m (4m²) conforme Montanari et al. (2010). As plantas arrancadas foram identificadas até completar o processo de secagem natural.

Foram determinados: o número de vagens por planta, pela relação número total de vagens e número total de plantas; o número de grãos por vagem, obtido pela relação número total de grãos e número total de vagens;

e a massa de 100 grãos, determinado através da coleta ao acaso e da pesagem de uma amostra de 100 grãos de cada parcela.

As amostras dos grãos foram obtidas aleatoriamente e colocadas em estufa a 105 °C, seguindo-se a metodologia proposta por Brasil (2009); os grãos foram pesados antes de serem acondicionadas na estufa e depois da sua retirada da estufa para determinação, de acordo com a Equação 6, do teor de água na amostra.

$$U = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad \text{eq.6}$$

em que

P_i = a massa inicial da amostra (g),

P_f = a massa final da amostra (g),

U = teor de água (% b.u.).

Para que os resultados da massa de 100 grãos não sejam influenciados por diferentes teores de água, os dados obtidos por meio da equação 6 foram corrigidos para 13% de umidade, utilizando-se a Equação 7:

$$M_f = \left[1 - \left(\frac{U_i - U_f}{100 - U_f} \right) \right] * M_i \quad \text{eq.7}$$

em que

Fazer igual ao sugerido para Equação 1

M_f = a massa dos grãos com 13% b.u. (g),

U_i = teor de água inicial, b.u. (%),

U_f = igual ao teor de água final, b.u. (%)

M_i = massa das sementes inicial (g).

3.7. Análise dos Dados

3.7.1. Estatística descritiva

Os dados foram analisados por meio de medidas de posição (média e mediana) e dispersão (mínimo, máximo, variância, assimetria e curtose) pelo software SAS 9.2. Foi verificada a normalidade da distribuição dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade e a presença de “outliers”

conforme metodologia seguida por Lima et al. (2012). As medidas de posição e dispersão são bastante sensíveis à presença de “outliers”, de forma que a verificação de ocorrência destes, deve preceder as demais etapas da análise de variabilidade.

3.7.2. Teste de médias

As médias dos dois sistemas de cultivo obtidas para cada um dos atributos do solo e da cultura do feijão foram comparadas aplicando o teste F usando o *software* SAS 9.2.

3.7.3. Correlação de Pearson

A análise de correlação de Pearson foi utilizada para estudar a correlação existente entre todos os parâmetros de solo e da cultura do feijão obtidos nos dois sistemas de cultivo (REIS et al, 2009; SOUZA et al., 2010, VALENTE et al., 2012; LIMA et al.2012). Assim, selecionaram-se aqueles de maior correlação linear e que possam apresentar semivariograma cruzado e permitam realizar a cokrigagem.

3.7.4. Ajuste do Semivariograma

Isoladamente para cada atributo foi analisada sua dependência espacial, pela obtenção do semivariograma simples. Para aqueles que apresentaram interdependência espacial, foram obtidos também seus semivariograma cruzados, pelo uso do pacote Gamma Design Software (GS+, 2008).

Os ajustes dos semivariograma simples e cruzados, em função de seus modelos, foram efetuados prioritariamente pela seleção inicial de: (a) menor soma dos quadrados dos desvios (SQR); (b) maior coeficiente de determinação (r^2). O índice de dependência espacial (IDE), foi calculado pela Equação 8 apresentada abaixo.

$$IDE = \left(\frac{c}{c_0+c} \right) \times 100 \quad \text{eq.8}$$

em que

IDE = índice de dependência espacial;

C = contribuição

C_0 = efeito pepita.

Para a escolha do modelo teórico do semivariograma, bem como a definição da vizinhança de busca, foi realizada a validação cruzada. Para cada atributo, foram relacionados o efeito pepita (C_0), o alcance (A_0) e o patamar (C_0+C), conforme metodologia seguida por Camargo et al. (2011). Foi considerada dependência forte para valores menor ou igual a 25%, dependência espacial moderada para valores entre 25 e 75%, dependência espacial fraca para IDE entre 75% e 100% e para valores iguais a 100% foi considerada efeito pepita puro.

A análise geoestatística e a elaboração dos mapas de atributos obtidos por interpolação via krigagem, utilizando os modelos ajustados aos semivariograma, foram realizadas nos proPcem GS+ (ROBERTSON, 2008)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização da área experimental

4.1.1. Caracterização Química e Textural do Solo

De acordo com os resultados da análise química do solo (Quadro 1), não houve necessidade da correção do pH (potencial hidrogeniônico em água) do solo, saturação por bases (V), acidez trocável (Al^{+3}) e a saturação por Al^{+3} (m), pois as mesmas foram classificadas como média (5,1 – 5,9), alta (> 90) e baixa ($\leq 0,20$ e $\leq 15,0$), respectivamente. A acidez potencial (H + Al) foi maior que 6, sendo, assim, classificada como boa (ALVAREZ et al., 1999).

Quadro 1 - Características químicas do solo, na camada de 0 - 0,20 m de profundidade, da área experimental

PH	P	K	Ca ²⁺	Mg ⁺²	Al ⁺³	H+Al	SB	(t)	(T)	V	m	P-rem
(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)		cmol _c dm ⁻³							%	mg L ⁻¹	
5,54	11,82	59,8	4,18	3,17	0,22	7,43	7,86	6,68	15,29	51,39	0,0	34,1

pH = potencial hidrogeniônico; P = fósforo, em mg.dm⁻³; K = potássio, em mg.dm⁻³; Ca⁺² = cálcio, em mg.dm⁻³; Mg⁺³ = magnésio, em mg.dm⁻³; Al⁺³ = alumínio, em mg.dm⁻³; SB = soma de bases, em mg.dm⁻³; (t) = capacidade de troca de cátions efetiva, em mg.dm⁻³; (T) = capacidade de troca de cátions em pH 7, em mg.dm⁻³; V = saturação de bases, %; m = saturação por alumínio, %; P-rem = disponibilidade de fósforo.

As disponibilidades de fósforo (P-rem), cálcio trocável (Ca²⁺), magnésio trocável (Mg²⁺) e soma de bases (SB) foram classificadas como muito boas, pois apresentaram valores maiores que 30,0; 4,0; 1,50; e 6,0, respectivamente. A disponibilidade de potássio (K), a capacidade de troca de cátions efetiva (t), a capacidade de troca de cátions em pH 7 (T) e fósforo (P) foram classificadas como boas pelo fato de se encontrarem nas faixas entre 71 - 120, 4,61 - 8,00, 8,61 - 15,00 e 20,1 - 30, respectivamente.

No Quadro 2 são apresentadas as frações de areia, silte e argila, obtidas pela análise granulométrica do solo da área experimental. O solo foi classificado como de textura franco-argilosa, contendo 57% de argila em sua composição (EMBRAPA, 1997).

Quadro 2 - Análise granulométrica do solo, na faixa de 0 - 0,30 m de profundidade, da área experimental

Partículas	Porcentual (%)
Areia Grossa	35
Silte	8
Argila	57

4.1.2. Propriedades físicas do solo

As características analisadas foram o teor de água e a densidade do solo, nas faixas de 0 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m de profundidade (Quadro 3).

No sistema de plantio direto a maior porcentagem de teor de água foi observada (Quadro 3) na faixa de 0,0 a 0,10 m de profundidade do solo, devido ao acúmulo de palhada do sistema. Outro valor importante é para a resistência a penetração registrada na camada de 0,2 a 0,3 m, 1,89 Mpa. Segundo Montanari et al. (2010) valores acima de 2,0 Mpa acarretam problemas na produção de grãos de feijão, ou seja a camada não apresenta um valor que poderá restringir a produção de feijão.

Para o plantio convencional encontramos valores menores de teor de água (Quadro 3) e com a camada superficial a com maior quantidade de água, quando comparado ao plantio direto, fato provocado pela compactação das camadas mais profundas, dificultando a entrada de água no solo. A resistência a penetração apresentou um valor perto do limite na terceira camada na área do plantio direto, mais a mesma ainda passaria pela ação do arado e da grade. Com a cobertura vegetal do plantio direto, encontramos maior quantidade de água na camada superficial. É valores maiores de compactação na camada mais profunda estudada.

Quadro 3 – Propriedade físicas antes de implementação de ambos os preparos.

Sistema de plantio direto					
Profundidade	TA	DS	DP	P	RP
0 - 0,10 m	32,2	1,63	0,73	0,59	1,11
0,10 - 0,20 m	28,0	1,46	0,77	0,60	1,23
0,20 - 0,30 m	26,4	1,44	0,93	0,60	1,89
Sistema de plantio convencional					
Profundidade	TA	DS	DP	P	RP
0 - 0,10 m	20,2	1,89	0,77	0,55	1,13
0,10 - 0,20 m	19,3	1,93	0,76	0,52	1,57
0,20 - 0,30 m	15,4	1,90	0,79	0,53	1,73

DSi = densidade do solo; DPi = densidade de partícula; T_{Ai} = teor de água no solo; P_i = Porosidade, RP_i = resistência a penetração. i=1 = 0 – 0,1m de profundidade, 2 = 0,1-0,2m de profundidade; 3 = 0,2 – 0,3m de profundidade.

4.2. Análise Descritiva

4.2.1. Sistema de plantio direto

No Quadro 4, tem-se a análise descritiva inicial dos atributos físicos do solo em sistema de plantio direto. De acordo com Pimentel Gomes e 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 ($CV > 30\%$).

A variabilidade da densidade do solo (DS) e da densidade da partícula (DP) nas três camadas de solo estudadas foram baixas ou médias (Quadro 4), com coeficientes de variação entre 9,28 e 14,45%. Assim, ambos foram semelhantes com aqueles obtidos por Secco et al. (2005), Santos et al. (2006), Lima et al. (2007), Botta et al. (2008), Schaffrath et al. (2008), Montanari et al. (2009), Cavalcante et al. (2011), Dalchiavon et al. (2010), Altikat et al. (2011), os quais variaram entre 3-15%.

Quadro 4 - Análise descritiva dos atributos físicos do solo, no sistema de plantio direto

Atributo	Medidas estatísticas descritivas						Dist.
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)	
			Mínimo	Máximo			
DS1 (kg dm ⁻³)	1,4472	1,4410	1,055	1,835	0,1567	10,82	Nor.
DS2 (kg dm ⁻³)	1,5216	1,5315	1,150	1,922	0,1413	9,28	Nor.
DS3 (kg dm ⁻³)	1,4430	1,4405	1,070	1,772	0,1532	10,62	Nor.
DP1(kg dm ⁻³)	0,7622	0,7550	0,551	1,043	0,1101	14,45	Nor.
DP2(kg dm ⁻³)	0,7904	0,78	0,305	1,128	0,1118	14,15	Nor.
DP3(kg dm ⁻³)	1,4430	0,7695	0,512	1,929	0,1009	13,11	Nor.
TA1 (%)	23,1443	21,0030	8,06	55,35	8,8799	42,27	Nor.
TA2 (%)	26,8659	28,0342	10	51,02	9,04344	33,66	Nor.
TA3 (%)	26,4271	25,0354	8,06	50,32	9,4865	37,89	Nor.
P1 (%)	0,6849	0,6850	0,471	0,933	0,093	13,58	Nor.
P2 (%)	0,7313	0,7295	0,447	1,227	0,1154	15,79	Nor.
P3 (%)	0,6734	0,672	0,412	0,910	0,1007	14,95	Nor.
RP1(MPa)	1,2987	0,2613	0,0455	1,865	0,1402	53,62	Nor.
RP2 (MPa)	1,6222	0,6395	0,050	1,987	0,3713	58,05	Nor.
RP3 (MPa)	2,6839	0,7070	0,050	1,943	0,4602	65,1	Nor.

DSi = densidade do solo; DPi = densidade de partícula; TAI = teor de água no solo; Pi = Porosidade, RPi = resistência a penetração. i=1 = 0 a 0,1m de profundidade, 2 = 0,1 a 0,2m de profundidade; 3 = 0,2 a 0,3m de profundidade. Nor.= normal.

Em relação à porosidade todas as faixas apresentaram variabilidade média, com coeficientes de variação entre 13,58 e 15,79% (Quadro 4). Os dados de porosidade total, concordam com os de Secco et al. (2005), quando estudaram um Latossolo Vermelho Distrófico sob plantio direto, nas profundidades de 0-0,07 m e de 0,07-0,14 m, de Santos et al. (2006) em um Latossolo Vermelho Distroférrico sob plantio direto, de Megda et al. (2008) num Latossolo Vermelho Distroférrico sob plantio direto, nas profundidades 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 m, porém discordam com Cavalcante et al.(2010).

A variabilidade do teor de água nas três profundidades foram considerados muito altas, como observado no Quadro 4, ficando em valores entre 42,37, 38,36 e 37,89%, que diferem de Megda et al. (2008) e concordam Cavalcante et al. (2010) no sistema de semeadura direta, que encontraram alta variabilidade variando de 4% a 8%.

Em relação à resistência à penetração (RP), a variabilidade foi muito alta e alta, respectivamente nas profundidades 0-0,10 (RP1); 0,10-0,20 (RP2) e 0,20-0,30 (RP3) sendo entre 53, 62, 58,05 e 65,1 %, (quadro 4). Assim, tais dados de resistência à penetração concordaram com aqueles de Souza

et al. (2006), Mercante et al. (2003), Johann et al. (2004) e Freddi et al. (2006) e Cavalcante et al (2011), respectivamente de 37% para todas as profundidades estudadas. A resistência do solo a penetração média aumentou depois da sementeira, provocado pelo tráfego de máquina na área.

Todos os atributos estudados nas três profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 m, apresentaram distribuição de frequência do tipo normal (quadro 4), a 5% de probabilidade pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

Os valores médios da DS, foram 1,447 kg dm⁻³(DS1); 1,522 kg dm⁻³ (DS2) e 1,443 kg dm⁻³(DS3). Segundo Cavalcante et al.(2011), ao pesquisar a variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e preparos em um Latossolo Vermelho, encontrou valores médios maiores da densidade do solo, que ficaram em torno de 3,05 a 3,45 kg dm⁻³ para solos com plantio direto e convencional, até 0,3 m de profundidade. Já, Montanari et al. (2010) em sistema de plantio direto obteve valores médios de 1,36 kg dm⁻³ e 1,41 kg dm⁻³.

Em relação a porosidade, os valores médios para P1 foram de 0,6849 kg m⁻³, P2 de 0,7313 kg m⁻³, e P3 foram de 0,6734 kg m⁻³ no trabalho de Montanari et al. (2010) a porosidade apresentou valores médios de 0,532 kg m⁻³, para o sistema de plantio direto, ficando, nesse caso, de forma semelhante às obtidas por Klein et al. (2008). Schaffrath et al. (2008) encontraram valores médios para a porosidade total de 0,3278, 0,412, 0,5768 kg m⁻³ nas mesmas faixas de profundidade trabalhadas nesse trabalho.

A densidade do solo e a porosidade, no sistema de plantio direto, se apresentaram uniforme nas 3 camadas estudadas, o que poderá influenciar em uma uniformidade do teor de água nas camadas, conseqüentemente também na produção de grãos. Esta uniformidade é um dos objetivos do sistema de plantio direto, e se dá pela ausência de maquinários revolvendo o solo, preservando a estrutura do mesmo.

Os valores de teor médio de água foram de 23,1443, 26,8659 e 26,427% nas faixas de 0-0,10m 0,10-0,20m e 0,20-0,30m, respectivamente, Carvalho et al. (2011) encontraram valores similares e com uma mesma

tendência, (TA1 igual a 20% e TA2 igual a 26,4% e TA3 de 33,44%). Roque et al. (2008) ao trabalharem em um sistema de plantio convencional na cultura do feijão irrigado encontrou valores médios de teor de água de 24,02% na faixa de 0-0,1 e 37,2% entre 0,1-0,2m de profundidade, apesar de valores parecidos o maior teor de água foi encontrado em maiores profundidades. Já Carvalho et al.(2006) encontrarem valores bem parecidos nas duas camadas, cerca de 16 e 16,4% de água nas duas faixas. Como esperado os valores foram parecidos, além da área contar com um pivô central, fatores físicos do solo também colaboraram para tal fato,

Os valores médios de resistência a penetração (RP) foram de RP1 1,2987, RP2 de 1,6222 e RP3 2,6839 Mpa. Secco et al. (2005); verificaram valores de RP (RP1 de 1,47 MPa, RP2 de 3,01 MPa). Eles também indicaram, assim como neste trabalho, que as camadas estudadas encontravam-se compactadas, sendo a RP3 a mais problemática, valores acima de 2,0 Mpa são restritivos para o crescimento da raiz do feijão conforme citado por Silva et al. (2004), tornando-se um fator limitante para máxima expressão da produtividade do feijão, prejudicada tanto pelo deficiente crescimento radicular, ou seja a RP3 é uma camada compactada para a produção do feijão e afetará a produção. A RP1 apresentou um valor mais baixo devido a maior quantidade de matéria orgânica presente na camada superficial do solo, oriunda da decomposição da palhada da cultura anterior e também da ação dos sulcadores da semeadora-adubadora utilizada para deposição do adubo e semente.

4.2.2. Sistema de preparo Convencional

No Quadro 5 tem-se a análise descritiva dos atributos físicos do solo no sistema de preparo convencional.

A variabilidade da densidade do solo (DS) e da densidade da partícula (DP) nas três camadas de solo estudadas foram médias conforme visto no Quadro 5, com coeficientes de variação entre 10,28 e 13,07% DP com valores entre 14,62% e 17,83. Valores semelhantes também foram encontrados por Cavalcante et al. (2011) trabalhando em um Latossolo Vermelho do cerrado do Mato grosso em um sistema de preparo

convencional. Schaffrathe et al. (2008) encontrou valores menores, com CV de 12,33% a 19,3%.

Quadro 5 - Análise descritiva inicial dos físicos do solo, no sistema de preparo convencional

Atributo	Medidas estatísticas descritivas						Dist.
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)	
			Mínimo	Máximo			
DS1 (kg dm ⁻³)	1,1929	1,4247	0,7686	1,6926	0,1821	13,07	Nor.
DS2 (kg dm ⁻³)	1,6541	1,6071	1,0134	1,7868	0,1485	10,55	Nor.
DS3 (kg dm ⁻³)	1,8247	1,5474	1,1144	1,9767	0,1567	10,28	Nor.
DP1(kg dm ⁻³)	0,7184	0,7015	0,4030	1,2415	0,1281	17,83	Nor.
DP2(kg dm ⁻³)	0,7665	0,7555	0,3270	1,0906	0,1258	16,41	Nor.
DP3(kg dm ⁻³)	0,7844	0,7698	0,5843	1,3548	0,1147	14,62	Nor.
TA1 (%)	23,2526	25,0234	4,01	40,21	9,072	39,01	Nor.
TA2 (%)	19,8775	20,03	8,23	62,2	8,315	41,83	Nor.
TA3 (%)	16,5959	15,30	5,31	54,03	8,7562	49,76	Nor.
P1 (%)	0,4829	0,4757	0,2337	0,5849	0,0645	13,35	Nor.
P2 (%)	0,5058	0,5256	0,2884	0,8008	0,0703	13,90	Nor.
P3 (%)	0,4829	0,4757	0,0944	0,6015	0,0737	15,26	Nor.
RP1(MPa)	0,1423	0,1261	0,0636	0,4764	0,0764	53,56	Nor.
RP2 (MPa)	0,4425	0,37	0,058	1,404	0,2834	64,04	Nor.
RP3 (MPa)	0,9399	0,5865	0,163	2,598	0,4898	66,20	Nor.

DSi = densidade do solo; DPi = densidade de partícula; TAI = teor de água no solo; Pi = Porosidade, RPi = resistência a penetração. i = 1 = 0 – 0,1m de profundidade, 2 = 0,1-0,2m de profundidade; 3 = 0,2 – 0,3m de profundidade.

Para a porosidade total (P) apresentou valores médios em relação a CV, valores similares foram encontrados por Schaffrathe et al.(2008). Em relação ao teor de água no solo, esta variável apresentou um CV muito alto, valores que diferem dos foram encontra por Schaffrathe et al.(2008), com valores de CV 9,5- 9,7%.

Em relação à resistência à penetração (RP), a variabilidade foi muito alta, respectivamente nas profundidades 0-0,10 (RP1); 0,10-0,20 (RP2) 3 e 0,10-0,30 (RP3), sendo de 53, 56 e 64% respectivamente (quadro 5). Assim, tais dados de resistência à penetração concordaram com os encontrados por Simet et al. (2009), e Cavalcante et al.(2011).

Todos os atributos estudados nas duas profundidades de 0 a 0,10; 0,10 a 0,20 m e 0,1 a 0,3 m, apresentaram distribuição de frequência do tipo normal (quadro 5), a 5% de probabilidade pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

Os valores médios da DS foram, 1,3929 kg dm⁻³(DS1), 1,5541 kg dm⁻³ (DS2) e 1,5247 (DS3), Mazuarana et al. (2011) estudando os efeitos de diversos sistemas de preparo de solo nas propriedades físicas do solo encontrou valores superiores, cerca e 1,73 kg dm⁻³. Segundo Cavalcante et al.(2011) encontraram que valores elevados em torno de 2,81 a 2,92 kg dm⁻³, até 0,3 m de profundidade.

Já Montanari et al. (2009) em uma cultura de feijão irrigado, encontrou valores parecidos, com média de 0,95 kg dm⁻³ e 1,18 kg dm⁻³. Em relação à porosidade, os valores médios para P1 foram de 0,48 kg m⁻³ ; P2 de 0,50 kg m⁻³ e P3 de 0,48 kg m⁻³, no trabalho de Montanari et al. (2010) a porosidade apresentou valores médios de 0,532 kg m⁻³, de forma semelhante às obtidas por Souza et al. (2006). Schaffrath et al. (2008).

Os valores de teor médio de água foram de 23,25; 19,88 e 17,60%, Carvalho et al.(2011) encontraram valores médios de 17,3; 19,6 e 20, 21 % para preparo convencional nas faixas de 0 - 0,30m, apresentando CV. Cavalcante et al. (2011) encontrou valores menores de 9,4; 17,33 e 19,5, nas mesmas faixas que este trabalho.

Diferente do sistema do plantio direto, o maquinário utilizado ano após anos no sistema de plantio convencional na área não permite uma uniformidade nas propriedades físicas do solo, observado para densidade do solo e teor de água, o que pode influenciar a produção, porém com o revolvimento superficial do solo, a área apresentou um nível de compactação considerado satisfatório.

4.2.3. Comparação das médias dos atributos físicos do solo obtidas sob os sistemas de plantio convencional e plantio direto

No Quadro 6, está apresentado a comparação das médias dos sistemas de preparo do solo em relação aos atributos físicos do solo.

Quadro 6 – comparação das médias dos sistemas de preparo do solo em relação aos atributos físicos do solo.

Atributo	Valores Médios dos Sistemas de Plantio	
	Convencional	Direto
DS1 (kg dm ⁻³)	1,19a	1,44a
DS2 (kg dm ⁻³)	1,65a	1,52a
DS3 (kg dm ⁻³)	1,82a	1,44a
DP1(kg dm ⁻³)	0,72a	0,76a
DP2(kg dm ⁻³)	0,76a	0,79a
DP3(kg dm ⁻³)	0,78a	1,44b
TA1 (%)	23,25a	23,14a
TA2 (%)	19,88a	26,86b
TA3 (%)	17,59a	26,42b
P1 (%)	0,48a	0,68b
P2 (%)	0,51a	0,73b
P3 (%)	0,48a	0,67b
RP 1(MPa)	0,14a	1,29b
RP2 (MPa)	0,44a	1,62b
RP3 (MPa)	0,94a	2,68b

DSi = densidade do solo; DPi = densidade de partícula; TAi = teor de água no solo; Pi = Porosidade, RPi = resistência a penetração. i = 1 = 0 – 0,1m de profundidade, 2 = 0,1-0,2m de profundidade; 3 = 0,2 – 0,3m de profundidade.

Letras minúsculas na linha comparam os diferentes sistemas de plantio dentro de uma mesma profundidade. Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste f (p < 0,05).

Com relação à densidade do solo, comparando os dois preparos de cultivos estudados, convencional e plantio direto, observa-se no Quadro 6 que não houve diferença significativa pelo teste F a 5% de probabilidade em todas as faixas estudadas, com valores mais altos encontrado no sistema de plantio convencional nas camadas 0,1 a 0,2m e 0,2 a 0,3m.

Para a densidade de partícula com relação aos sistemas, os valores de plantio direto foram maiores do que no sistema convencional, sendo estatisticamente diferentes pelo teste F apenas na profundidade de 0,2 a 0,3m.

Observando o teor de água (TA) no Quadro 6, comparando os dois preparos encontrou-se valores diferentes nas últimas 2 faixas de profundidades, maiores no sistema de plantio direto.

Para a porosidade entre o sistema de convencional e plantio direto todas as faixas foram diferentes entre si (Quadro 6), com valores maiores no sistema de plantio direto.

Para o estudo da resistência do solo à penetração os valores encontrados no sistema de plantio direto foram maiores e significativos, como observado no Quadro 6.

4.2.4. Componentes de produtividade de grãos cultura do feijão nos dois sistemas plantio

Na Quadro 7, é apresentada a análise descritiva dos atributos da cultura do feijão em diferentes sistemas de plantio. O coeficiente de variação da massa de 100 grãos de feijão em ambos os sistemas foi considerado baixo com valores de 7,03 e 5,83 no plantio direto e convencional, respectivamente. Para os dados de vagens por plantas encontrou-se valores de CV alto para os dois sistemas. Todas as outras variáveis, encontraram valores alto de coeficiente de variação. Resultados que combinam com os de Kitamura et al. (2007), Megda et al. (2008), Montanari et al. (2009), Dalchiavon et al.(2011), porém diferem de Roque et al. (2008) e Carneiro et al (2009) que encontraram na maioria valores, CV médio para os atributos.

Em relação aos valores médios para o plantio direto tem-se a média de 14,9 vagens por planta; 5,63 grãos por vagem; 81,68 de grãos por plantas, 1628 grãos por planta e a massa de 21,05 para cada 100 grãos de feijão.

Para o sistema de preparo convencional tem-se os valores médios de 16,10 para vagens por planta; 5,78 grãos por vagem; 93,43 grãos por planta; 1514,11 produção de grãos de feijão por planta.

No Quadro 8 são apresentadas as comparações entre sistemas de plantios para os parâmetros de produção da cultura de feijão. A média do número de vagens por planta foi significativamente maior no sistema convencional diferente do número de grãos por vagem, já o número de grãos por planta não foi diferente estatisticamente pelo teste F. Contudo, o plantio direto, mesmo apresentando valores médios inferiores para outros atributos, apresentou média de produtividade maior do que o convencional. Essa média foi aproximadamente 8% superior a do plantio convencional. Esse fato pode ser devido ao menor valor para o coeficiente de variação do

número de grãos de feijão observado no plantio direto, tal como também observado por Montanari et al. (2009), Cavalcante et al.(2010) , Dalchiavon et al.(2011).

Quadro 7 - Análise descritiva dos atributos da cultura do feijão em diferentes sistemas de plantio

Medidas estatísticas descritivas							
Atributo	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Coef de Var. (%)	Dist.
			Mínimo	Máximo			
Plantio direto							
V/P	14,90	14,51	8,63	28,92	3,05	20,46	Log-Nor.
G/V	5,63	5,055	3,31	36,18	2,84	50,56	Nor.
G/P	81,68	75,27	44,07	399,17	38,87	47,58	Nor.
PGF	1628,41	1521	546	11576	604,80	37,01	Nor.
Pcem	21,05	21,00	16,40	24,13	1,48	7,03	Log-Nor
Sistema convencional							
V/P	16,10	15,5	7	26	3,85	23,93	Nor.
G/V	5,78	5,39	1,71	22,16	2,53	43,83	Nor.
G/P	93,43	84,74	33,54	478,6	56,72	60,70	Nor.
PGF	1514,11	1539	500	2598	745,13	49,21	Log-Nor
Pcem	20,62	20,71	17,64	23,38	1,20	5,83	Nor.

V/P = vagens por plantas; G/V = grãos por vagens; G/P = grãos por planta, PGF = produtividade de grãos de feijão, Pcem = peso de 100 grãos de feijão

O elevado valor da produtividade média de grãos, observado no trabalho, atestou que a cultura apresentou relativa resistência ao estado de compactação no qual o do solo se encontrava. Por outro lado, temos que considerar que o feijão foi irrigado sob pivô central, o constante condicionamento do solo, em situações ideais de umidade, podem ter suavizado o efeito negativo da compactação.

A produção de feijão ficou acima da produtividade média do Estado de Minas Gerais, conforme Embrapa (2009), e superior àquela relatada por Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) (2013), muito provavelmente devido à alta tecnologia empregada como tratamentos culturais e irrigação em pivô central.

Quadro 8 – Comparação entre médias dos sistemas de plantio convencional e direto para diferentes atributos

Atributo	Valores Médios	
	Convencional	Plantio Direto
V/P	16,10A	14,90B
G/V	5,78A	5,63B
G/P	93,43A	81,68B
PGF	1514,11B	1628,41A
Pcem	20,62B	21,05B

V/P = vagens por plantas; G/V = grãos por vagens; G/P = grãos por planta, PGF = produtividade de grãos de feijão, Pcem = peso de 100 grãos de feijão
 Letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste F ($p < 0,05$).

4.3. Análise de correlação dos atributos da produtividade de grãos de feijão e das propriedades físicas do solo, em plantio direto

4.3.1. Análise de correlação entre os atributos do feijão

As correlações entre a os atributos do feijão (Quadro 9) apresentaram significância positiva entre os atributos G/V e G/P (0,91**), G/P e Pcem (0,31*). Não foram encontradas correlações negativas significativas entre os atributos, como observado no Quadro 9.

4.3.2. Análise de correlação dos atributos do feijão com os atributos físicos do solo

As correlações dos atributos físicos do feijão com os atributos físicos do solo (Quadro 9) apresentaram significância positiva entre G/P e TA2 (0,75**), G/P e TA1 (0,61**), V/P e TA2 (0,23*), V/P e TA3 (0,22*). Os seguintes pares apresentaram correlação significativa negativa, G/V e DP1 (-0,21*), G/P e DP1 (-0,22*), G/P e RP1 (-0,18*), V/P e RP1 (-0,18*), V/P e RP2 (-0,17*), V/P e RP3 (-0,26*).

Como esperado, com o aumento do teor de água do solo houve um aumento no número de grãos por planta, esta correlação é mais evidente ainda na camada de 0,1 a 0,2m, onde cerca de 75% de raiz do feijão se

encontra de acordo com Montanari et al. (2011). Para as variáveis que tendem a demonstrar que o solo está compactado encontramos correlação negativa para densidade de partícula nas camadas 1 e 2, e para resistência a penetração nas 3 camadas, evidenciando que solos compactados podem reduzir a produção de grãos de feijão.

4.3.3. Análise de correlação entre os atributos físicos do solo

As correlações entre os atributos físicos do solo (Quadro 9) apresentaram significância positiva para os pares DP2 e DP1 (0,44*), DP3 e DS2(0,31*), DP3 e DS3 (0,75*), DP3 e DP2 (0,3), DS3 x DS2 (0,4*), DS1 e RP1 (0,18*), DS1 e RP2 (0,16*), P3 e DP1 (0,24), P3 e P2 (0,31), RP1 e DS3 (0,27*), RP1 e DP3 (0,37**), RP2 e DS3 (0,26*), RP2 e DP3 (0,37*), RP2 e RP1 (0,78), RP3 e DP3 (0,36**), RP3 e RP1 (0,66**), RP 3 e RP2 (0,88**) P1 e TA1 (0,26*), P1 e TA2 (0,39**), P2 e TA2 (0,15*), P2 e P1 (0,24*) e RP2 e RP1 (0,48**).

Os que apresentaram correlação significativa negativa foram P1 e DS1 (-0,71*), P1 e DS2 (-0,453**), P2 e DS1 (0,75**), P2 e DS2 (0,63**), P2 e DS3(0,26*), P2 e DP2 (0,22*), P3 e DS1 (0,27*), P3 e DS2 (0,3*), P3 e DS3 (0,76**), DP1 e DS2 (-0,29*), RP1 e TA2 (-0,44**) e RP2 e TA2 (-0,46**). RP2 e TA2 (-0,33*), RP3 x TA2 (-0,43**), RP3 e TA3 (-0,33*), DP1 e DS3 (-0,27*), DP1 e DS1 (-0,81*), DP2 e DS2 (-0,6*), DS1 e TA1 (-0,29**), conforme visto no quadro 9.

Muitos dos atributos com correlações positivas encontradas neste trabalho estão relacionados a compactação do solo, como a densidade do solo, porosidade. Porém encontramos correlações negativas entre a porosidade do solo e o teor de água, quanto mais poros o solo tem, maior a capacidade dele reter água. Também observado por Cavalcante et al.(2010) e Altikat et al. (2011).

Para os atributos de correlação negativas a porosidade foi bastante afetada com a compactação do solo, observa-se que com aumento da densidade do solo, e densidade de partícula e porosidade diminui. A resistência a penetração também apresentou correlação negativa significativa com o teor de água no solo, em duas das camadas estudadas,

sendo as mais profundas o que pode influenciar negativamente a produção de grãos de feijão.

Quadro 9 – Correlações entre atributos da produtividade de grãos de feijão e das propriedades físicas do solo, mensurados sob sistema de plantio direto

Atributos	Coeficiente de Correlação																			PGF
	DS1	DS2	DS3	DP1	DP2	DP3	TA1	TA2	TA3	P1	P2	P3	RP1	RP2	RP3	V/P	G/V	G/P	Pce	
DS1	1																			
DS2	0,31	1																		
DS3	0,31	0,40**	1																	
DP1	-0,81**	-0,29*	-0,27*	1																
DP2	-0,44**	-0,6**	-0,21	0,17	1															
DP3	0,20	0,31*	0,75**	0,16	0,30*	1														
TA1	-0,29**	0,006	0,09	-0,02	0,06	-0,04	1													
TA2	0,10	0,22	0,29	0,02	0,14	-0,02	-0,01	1												
TA3	-0,09	0,13	0,10	-0,04	-0,27	-0,10	-0,18	0,46**	1											
P1	-0,71**	0,19	0,21	0,18	0,20	0,15	0,26*	0,39**	-0,15	1										
P2	-0,75**	-0,63**	-0,26**	0,19	0,22*	0,08	-0,03	-0,13	0,18	0,24*	1									
P3	-0,27*	-0,30*	-0,76**	0,24*	0,05	0,15	0,02	0,13	0,04	0,09	0,31*	1								
RP1	0,18*	0,13	0,27**	0,20	0,05	0,37**	-0,18	-0,44**	0,37	-0,09	0,11	0,03	1							
RP2	0,16*	0,20	0,26*	0,16	0,14	0,37**	-0,11	-0,46**	-0,33*	0,06	0,10	0,03	0,78**	1						
RP3	0,13	0,26	0,20	0,11	0,13	0,36**	-0,09	-0,43*	-0,35*	0,1	0,19	0,08	0,66**	0,88**	1					
V/P	0,09	-0,07	-0,07	0,04	0,07	-0,09	0,06	0,23*	0,22*	0,09	-0,08	-0,14	-0,18*	-0,17*	-0,26*	1				
G/V	-0,10	-0,05	0,06	-0,21*	-0,01	0,08	0,001	0,08	-0,03	0,08	0,08	0,01	-	0,12	0,14	-0,15	1			
G/P	-0,08	0,06	0,03	-0,22*	0,02	0,07	0,61*	0,75**	0,12	0,14	0,06	-0,02	-0,18*	-0,15	-0,12	0,15	0,91*	1		
Pcem	-0,01	-0,15	0,02	0,01	-0,04	0,01	0,01	-0,02	0,08	0,01	-0,14	0,02	0,001	-0,07	-0,12	0,02	0,12	0,31*	1	
PGF	-0,22*	-0,18*	-0,15*	-0,17*	-0,02	-0,09	0,13	0,19	0,23*	0,34*	0,11	0,13	0,54**	0,56**	0,52**	0,02	0,17	0,33*	0,02	1

Significativo a 5% - *, Significativo a 1% - ** DS = densidade do solo; DP = densidade de partícula; TA = teor de água no solo; P = Porosidade, RP = resistência a penetração. 1 = 0 – 0,1m de profundidade, 2 = 0,1-0,2m de profundidade; 3 = 0,2 – 0,3m de profundidade. V/P = vagens por plantas; G/V = grãos por vagens; G/P = grãos por planta, PGF = produtividade de grãos de feijão, Pcem = peso de 100 grãos de feijão

4.4. Análise de correlação dos atributos da produtividade de grãos de feijão e das propriedades físicas do solo, em sistema de plantio convencional

4.4.1. Análise de correlação entre os atributos do feijão

Só houve correlação significativa positiva para os seguintes pares, conforme visto no quadro 10, os pares foram: V/P e G/P (0,32*) e G/V e Pcem (0,35*).

4.4.2. Análise de correlação dos atributos do feijão com os atributos físicos do solo

Quando analisamos os atributos do feijão com os atributos físicos do solo encontramos os seguintes pares positivos G/V e TA2 (0,55**), G/P e TA1 (0,74**), G/P e TA3 (0,6**), Pcem e DS3 (0,42**), Pcem e DP2 (0,73**), Pcem e P3 (0,62**), conforme visto no quadro 10.

Como o solo não foi considerado compactado poucos atributos físicos do solo tiveram correlação com os atributos de produção do feijão, os que tiveram correlação foram os teores de água, todos positivos, ou seja as maiores produções foram em pontos onde tinha maior teor de água. Este fato também ocorreu nos trabalhos de Montanari et al. (2009), Dalchiavon et al.(2011).

4.4.3. Atributos físicos do solo versus atributos físicos do solo

As correlações entre a os atributos físicos do solo versus os atributos físicos do solo (Quadro 10) apresentaram significância positiva para os pares DS2 e DS1 (0,24*), DS3 e DS1 (0,29*), DS3 e DS2 (0,54**), DP1 e DS1 (0,65**), DP1 e DS2 (0,27**), DP2 e DS2 (0,46**), DP3 e DS3 (0,35*), TA3 e TA2 (0,28*), P3 e DS3 (0,35*), RP2 e RP1 (0,46**), RP3 e P3 (0,67**), RP3 e RP1 (0,29*) e RP3 e RP2 (0,83**).

Em relação às correlações significativas negativas, estas foram as seguintes, conforme o quadro 10: TA3 e DS2 (-0,39**), TA3 e DS3 (-0,38**), TA3 e DP1 (-0,21*), TA3 e DP2 (-0,27*), TA3 e DP3 (-0,24), P2 e DP2 (-0,8**), P2 e DP3 (-0,31**), P3 e DP3 (-0,74**), RP1 e TA1 (-0,64**), RP2 e P2 (-0,21*).

Um número menor de correlações foi encontrado para o sistema de plantio convencional em relação ao sistema do plantio direto, este fato provavelmente se dá pelo revolvimento das camadas superficiais do solo, na ação do arado e da gradagem. A densidade do solo correlacionou com o teor de água do solo, assim como a densidade de porosidade. Quanto maior o valor de densidade e porosidade de solo menor o teor de água, o mesmo para a resistência a penetração. Mais uma vez indicando que solos compactados tendem a terem menor quantidade de teor de água.

Quadro 10 – Correlações entre atributos da produtividade de grãos de feijão e das propriedades físicas do solo, mensurados sob sistema de preparo convencional

Atributos	Coeficiente de Correlação																			
	DS1	DS2	DS3	DP1	DP2	DP3	TA1	TA2	TA3	P1	P2	P3	RP1	RP2	RP3	V/P	G/V	G/P	Pce	PGF
DS1	1																			
DS2	0,24*	1																		
DS3	0,29*	0,54**	1																	
DP1	0,65**	0,27*	0,09	1																
DP2	0,08	0,46**	0,3*	0,13	1															
DP3	0,19	0,19	0,35*	0,18	0,13	1														
TA1	-0,12	0,34	0,22	0,03	0,21	0,17	1													
TA2	-0,17	-0,16	-0,16	-0,03	-0,02	-0,1	0,10	1												
TA3	-0,19	-0,39**	-0,38**	-0,21*	-0,27*	-0,24*	0,14	0,28*	1											
P1	0,15	-0,11	0,16	-0,64	-0,07	-0,35	-0,16	-0,13	0,08	1										
P2	0,07	0,14	0,03	0,04	-0,8**	-0,31**	-0,003	0,02	0,05	0,004	1									
P3	0,05	0,2	0,35*	-0,1	0,09	-0,74**	-0,02	0,08	-0,01	0,2	0,02	1								
RP1	0,13	0,12	0,09	0,07	0,16	0,18	-0,64**	-0,04	-0,03	0,03	-0,08	0,11	1							
RP2	0,03	0,17	0,02	0,07	-0,06	0,10	0,11	0,05	-0,11	-0,06	-0,21*	0,14	0,46**	1						
RP3	0,05	0,16	0,03	0,05	0,01	0,04	0,12	-0,04	-0,14	-0,06	0,1	0,67**	0,29*	0,83**	1					
V/P	-0,10	-0,02	0,09	-0,12	0,13	-0,05	0,15	0,10	0,03	0,06	-0,15	0,02	-0,07	-0,02	-0,02	1				
G/V	0,06	0,02	0,03	0,04	-0,06	-0,08	0,04	0,55*	-0,11	0,11	0,08	-0,08	-0,18	-0,12	-0,08	0,32*	1			
G/P	0,04	0,02	0,13	-0,004	-0,01	-0,09	0,12	0,74**	0,6*	0,04	0,03	-0,06	-0,18	-0,11	-0,06	0,06	0,13	1		
Pcem	-0,004	0,1	-0,42*	-0,08	-0,73**	-0,03	0,14	0,05	-0,13	0,11	-0,07	0,62*	-0,05	0,04	-0,04	0,07	0,35*	0,02	1	
PGF	-0,12*	-0,24*	-0,11	-0,02	-0,23*	-0,19	-0,02	-0,27*	0,12	0,04	-0,06	-0,11	-0,56**	0,49**	0,52**	0,08	0,32*	0,13	0,14	1

Significativo a 5% - *, Significativo a 1% - ** DS = densidade do solo; DP = densidade de partícula; TA = teor de água no solo; P = Porosidade, RP = resistência a penetração. 1 = 0 – 0,1m de profundidade, 2 = 0,1-0,2m de profundidade; 3 = 0,2 – 0,3m de profundidade. V/P = vagens por plantas; G/V = grãos por vagens; G/P = grãos por planta, PGF = produtividade de grãos de feijão, Pcem = peso de 100 grãos de feijão

4.5. Análise dos Semivariograma simples da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio direto

No Quadro 11 abaixo estão apresentados os resultados dos ajustes dos modelos de semivariograma simples para cada um dos atributos de solo e da cultura do feijão no sistema de plantio direto.

Quadro 11 – Resumo dos resultados do ajuste dos modelos de semivariograma simples para cada um dos atributos de solo e da cultura do feijão no sistema de plantio direto

Atributo	Modelo	Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀) (m)	R ²	SQR	Índice de dependência espacial	E
Atributos físicos do solo								
TA1	Lin.	70,46	70,46	-	-	-	-	-
TA2	Esf.	35,80	82,13	43,90	0,843	1,40x10 ⁻⁴	Moderada	M.S.
TA3	Exp	42,2	92,68	20,9	0,78	2,11x10 ⁻⁶	Forte	M.S.
Ds1	Exp	0,0024	0,024	10,9	0,614	1,76x10 ⁻⁵	Moderada	Peq.
Ds2	Exp	0,00147	0,0195	10,8	0,576	1,54x10 ⁻⁵	Moderada	Peq.
Ds3	Exp	0,00173	0,0227	16,3	0,172	3,46x10 ⁻⁵	Fraca	Peq.
Dp1	Exp	0,00113	0,001166	9,7	0,727	2,84x10 ⁻⁶	Moderada	M.S.
Dp2	Esf	0,0002	0,01204	15,2	0,032	1,47x10 ⁻⁵	Fraca	Peq.
Dp3	Exp	0,00113	0,0105	10	0,517	5,44x10 ⁻⁶	Fraca	Peq.
P1	Exp.	0,00363	0,00874	18	0,776	1,96x10 ⁻⁶	Moderada	Peq.
P2	Exp.	0,00057	0,01334	16,5	0,106	1,515x10 ⁻⁷	Moderada	Peq.
P3	Lin.	0,00951	0,00951	-	-	-	-	-
Rp1	Gau.	0,0138	0,0488	53,80	0,971	3,973x10 ⁻⁷	Forte	M.S.
Rp2	Esf.	0,0366	0,1342	77,42	0,955	3,162x10 ⁻⁷	Forte	M.S.
Rp3	Esf.	0,0583	0,1406	82,90	0,924	4,117x10 ⁻⁷	Forte	M.S.
Atributos da planta								
V/P	Exp.	1,2	9,76	8,0	0,598	2,28	Moderada	Peq.
G/V	Lin.	13,798	13,798	-	-	-	-	-
Pcem	Gau.	0,339	2.238	5,9	0,005	0,250	Moderada	Peq.
G/P	Lin.	15,78	15,78	-	-	-	-	-
PGF	Exp.	18,1	255,6	17,5	0,294	3,99x10 ⁻⁹	Forte	Peq.

DSi = densidade do solo; DPi = densidade de partícula; TAI = teor de água no solo; Pi = Porosidade, RPi = resistência a penetração. i = 1 = 0 – 0,1m de profundidade, 2 = 0,1-0,2m de profundidade; 3 = 0,2 – 0,3m de profundidade. V/P = vagens por plantas; G/V = grãos por vagens; G/P = grãos por planta, PGF = produtividade de grãos de feijão, Pcem = peso de 100 grãos de feijão. E = Grau de aleatoriedade, M.S. = Muito significativa, Peq. = pequena.

Os atributos físicos do solo TA1 e P3, assim como os atributos da planta G/V e G/P apresentaram efeito pepita puro, conforme visto no Quadro 11, Montanari et al.(2009) encontraram efeito pepita puro para os atributos de densidade das partículas e porosidade, o efeito pepita pura reflete um fenômeno que não é completamente conhecido por falta de informação, mas não necessariamente um fenômeno espacial aleatório. Trabalhando em um espaçamento de 6x6m em cultura de feijão nos sistemas de plantio estudados. As variáveis V/P e Pcem obtiveram um alcance menor que a distância entre amostras (10m) sendo assim nestes casos pode-se inferir que não existe dependência espacial nas condições estudadas.

Montanari et al (2009) também encontraram um melhor valor de r^2 para os teores de água do solo e piores valores para as porosidades e tamanho de partícula do solo, Carvalho et al. (2006) encontrou o maior valor para a resistência a penetração na faixa de 0,2-0,3m, valores bem similares também foram encontrados por Cavalcante et al. (2011). Assis et al. (2005) encontraram valores maiores para o r^2 , mas seguiu uma mesma tendência com a resistência a penetração tendo o maior valor, e com valores altos para o teor de água e densidade do solo. Johaan et al. (2008), encontraram tendências diferentes, com baixos valores para resistência a penetração, provavelmente devido que o sistema era recém implementado.

Os atributos TA3, RP1, RP2, RP3 e PGF apresentaram uma forte dependência espacial, os TA2, DS1, DS2, DP1, P1, P2, apresentaram uma dependência espacial moderada, os seguintes dados apresentaram uma dependência espacial fraca DP2 e DP3, quadro 11. Lima et al. (2007), Schaffrath et al. (2008), Martins et al. (2009), Montanari et al. (2009) e Cavalcante et al.(2011) realizando trabalhos similares também encontraram em quase todos os atributos dependências espaciais moderadas e fortes. Para o grau de dependência temos os atributos estudados TA2, TA3, DP1, RP1, RP2 e RP3 classificada como muito significativa, o restante dos atributos temos pequeno grau de aleatoriedade.

O alcance representa a distância a partir da qual dois pontos podem ser considerados espacialmente independentes assim alcances maiores indicam que, para um dado intervalo de distância.

Em relação ao alcance os maiores foram para as variáveis RP3 (82,9m), RP2 (77,42m), RP1 (53,80m), TA2 (43,9m), TA3 (20,9m), P1 (18m), P2 (16,5m), DS3 (16,3M), DP2 (15,2m), DP3 (10,9m), DS1 (10,9m), DS2 (10,8m), DP1 (10,7m) como observado no quadro 11. Schaffrath et al.(2008) obtiveram valores de alcance de 80,1 m para densidade do solo, para a resistência a penetração de 0-0,10 m um alcance de 100,4 m e para o teor de água alcance de 102,3 m. Cavalcante et al.(2011) também encontraram valores mais altos para todas as faixas de densidade do solo, porem alcances menores para a resistência a penetração.

Os maiores alcances foram encontrados para a resistência a penetração, diminuindo o seu valor à medida que se aproxima da superfície, o teor de água acompanha uma tendência inversa, fato causado pela matéria orgânica presente no plantio direto. Fato este também que foi encontrado em trabalhos de Montanari et al.(2010) e Cavalcante et al. (2011).

As seguintes variáveis de atributos físicos do solo apresentaram um modelo no semivariograma exponencial TA3, DS1, DS2,DS3, DP1, DP3, P1, para os atributos das plantas foram V/P e PGF. Para modelo esférico temos TA2, DP2, P2, RP2 e RP3. E apenas a variável Pcem apresentou modelo gaussiano.

Em trabalho conduzido por Roque et al. (2008) foi obtido no semivariograma um modelo esférico para a densidade do solo, com alcance superior a encontrada neste trabalho. Souza et al. (2001), Santos et al.(2006) e Carvalho et al. (2006), Martins et al. (2009) encontraram também um modelo esférico, para a resistência a penetração. Com relação ao alcance da dependência espacial, a resistência mecânica apresentou valores entre 120,2 m e 135,8 m.

A porosidade apresentou um modelo gaussiano com um alcance de 44,3 m para para a produtividade de grãos no trabalho de Montanari et al.

(2010). Cavalcante et al. (2011), Megda et al. (2008), Dalchiavon et al. (2011), Freddi et al. (2006) encontraram alcance de 23 m, 28,5 m e 52,3 m.

Já Carneiro et al. (2009) encontraram modelo exponencial com o maior alcance de 55 m para a resistência a penetração. Martins et al. (2009) encontrou um alcance de 35,3 m e Mazurana et al. (2011) encontrou valores maiores, com 75 m.

O uso dos mapas de krigagem na identificação e espacialização das propriedades físico do solo e da produtividade de uma determinada área é de grande auxílio na tomada de decisões, pois facilita a identificação de glebas que necessitem de descompactação e possibilita a otimização das aplicações de insumos de maneira diferenciada. Isso não seria possível somente levando-se em conta os valores médios obtidos.

No quadro 12 estão dispostos os mapas simples das propriedades físicas do solo e componentes da produtividade de feijão em um sistema de plantio direto.

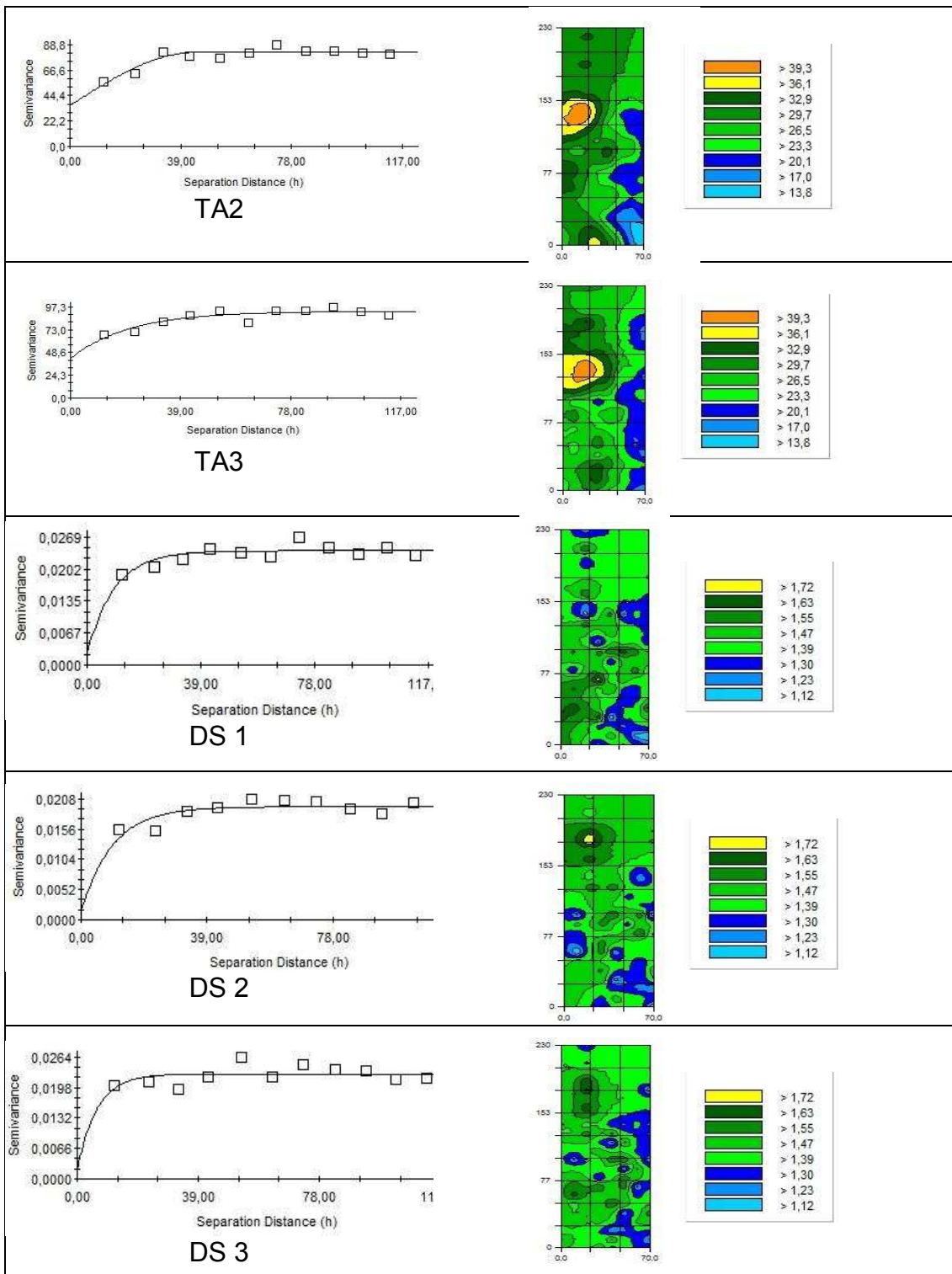
Como observado no Quadro 12, TA2 e TA3 apresentam um comportamento similar, o que já era esperado visto a correlação positiva encontrada entre os pares (0,28). Os mapas de densidade de partícula e do solo tiveram um comportamento parecido, menos o DS1 que provavelmente sofreu influência da deposição de matéria orgânica, este resultado também era esperado, observando as correlações existentes entre estes pares (Quadro 6). Carneiro et al. (2009) encontrou resultados semelhantes para a densidade da partícula e do solo.

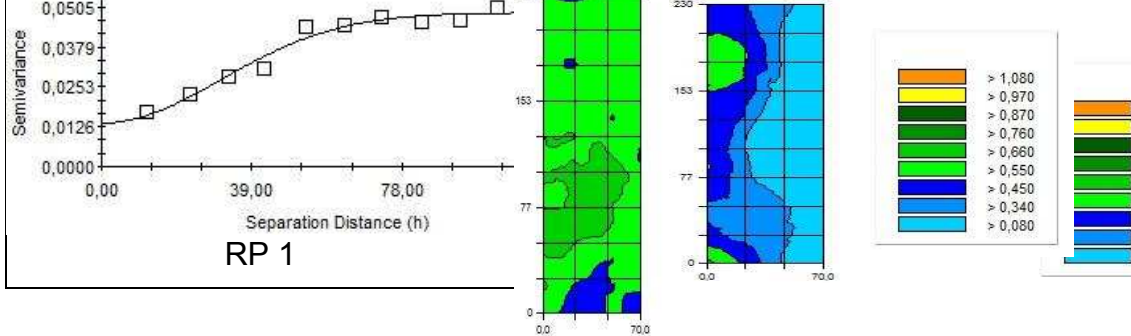
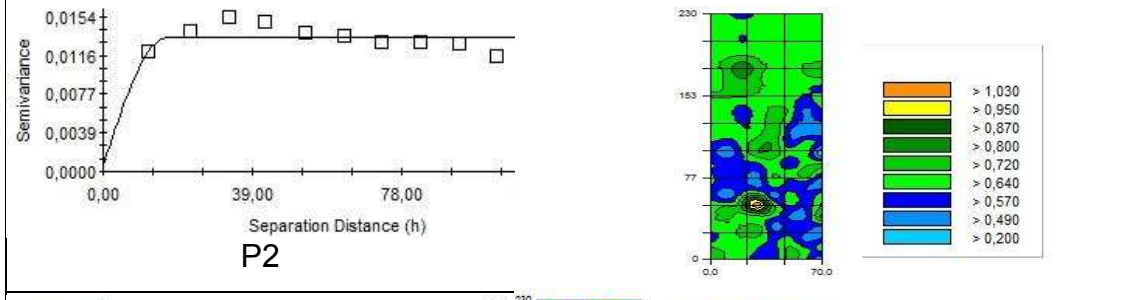
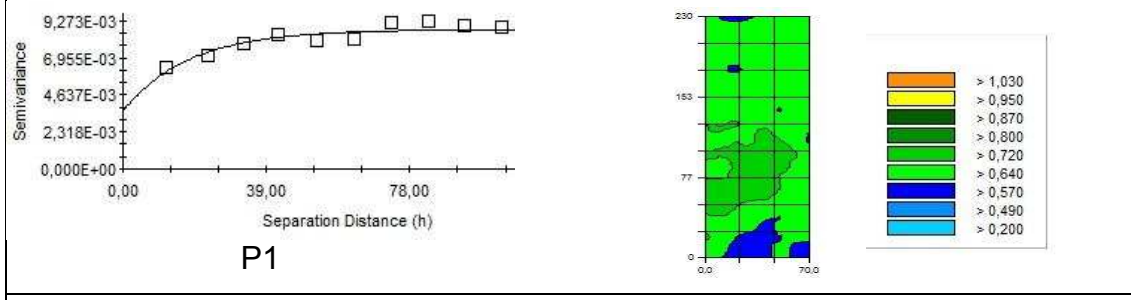
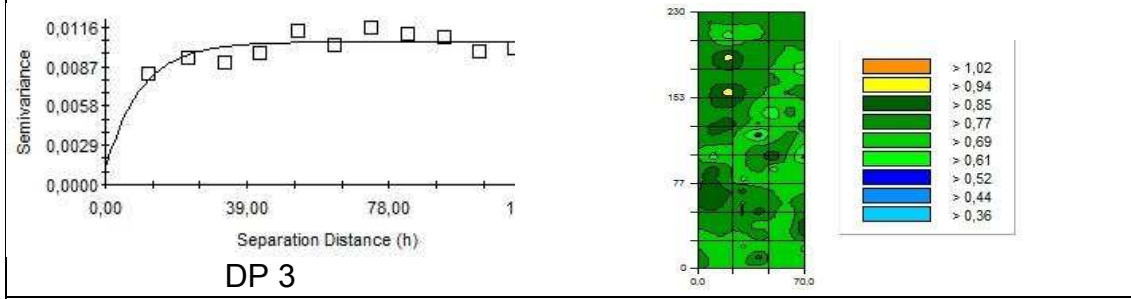
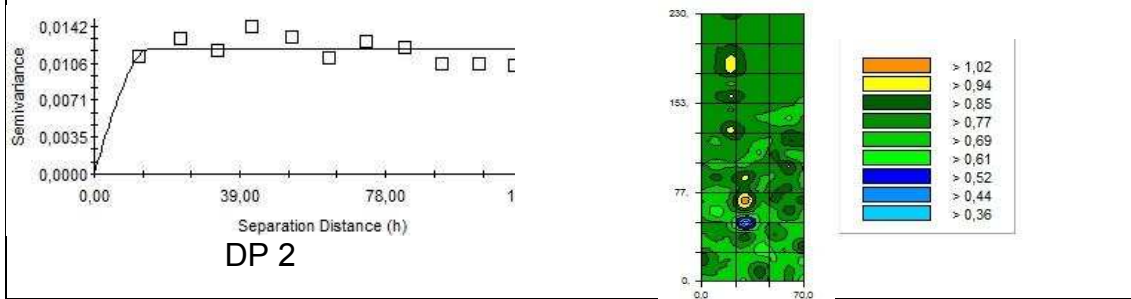
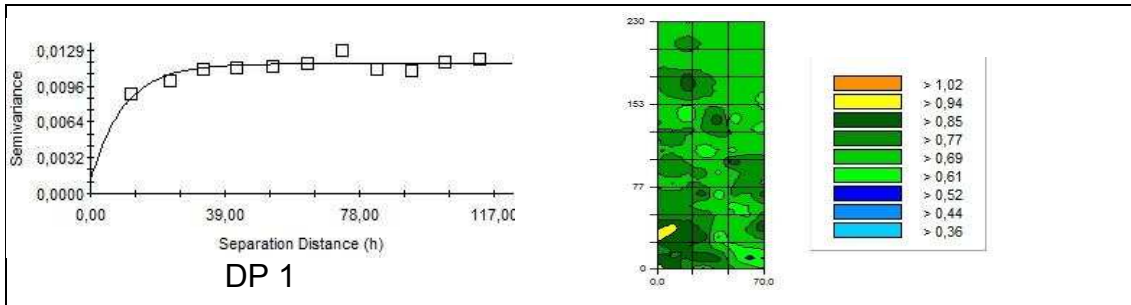
Os mapas de resistência a penetração, pares que tiverem correlações positivas a 1% de significância, tiveram comportamentos parecidos. Inclusive identificando uma zona de compactação próxima ao centro do pivô central. Esta mancha também fica evidente nos mapas de DS2, DS3, DP2 e DP3.

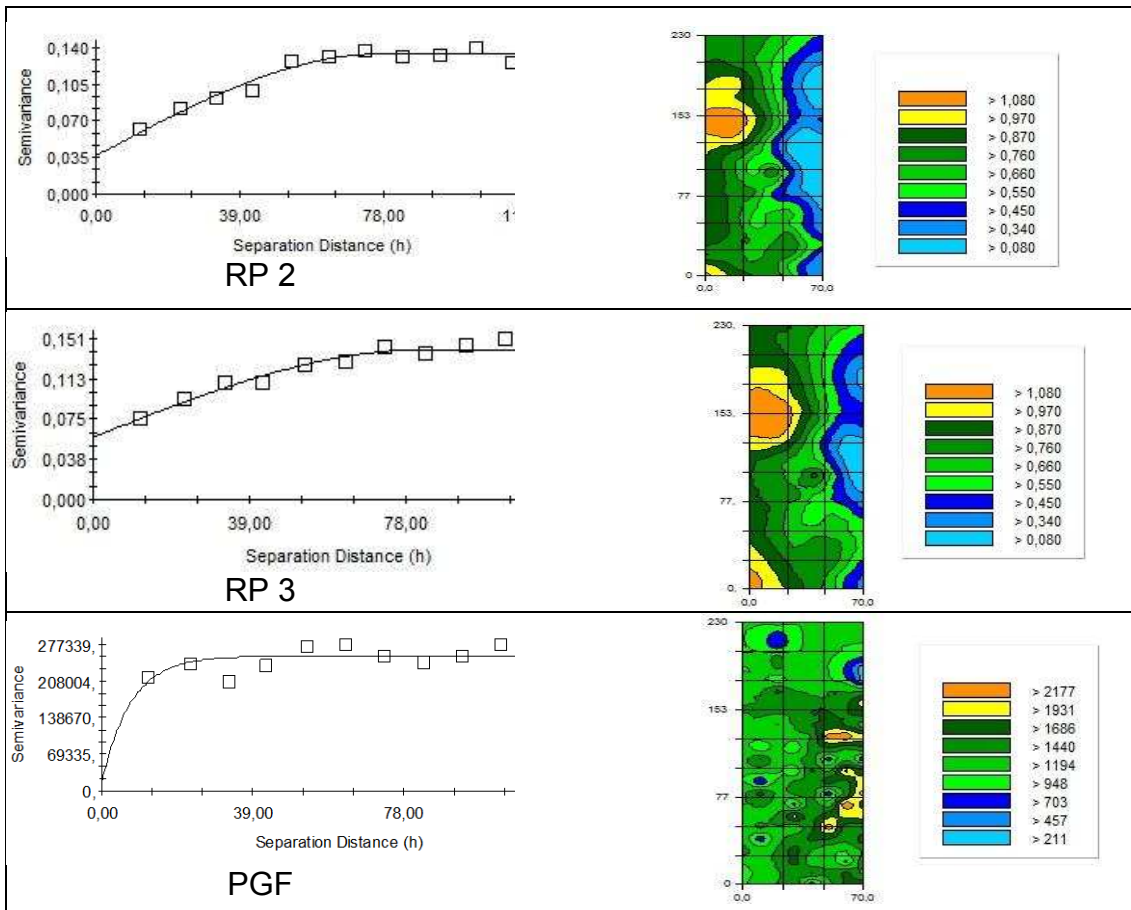
O mapa da produtividade de grãos de feijão acompanhou tendência da compactação do solo, é possível observar que as menores produções obtidas ficaram próxima ao centro do pivô, exatamente na zona já observada.

Fato este também observado por outros pesquisadores, como Montanari et al. (2010). Cavalcante et al. (2011).

Quadro 12 – Semivariograma simples da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio direto e seus mapas de produtividade







4.6. Análise dos Semivariograma simples da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com preparo convencional

No Quadro 13 abaixo estão apresentados os resultados dos ajustes dos modelos de semivariograma simples para cada um dos atributos de solo e da cultura do feijão no sistema de plantio convencional.

Quadro 13 – Resumo dos resultados do ajuste dos modelos de semivariograma simples para cada um dos parâmetros de solo e da cultura do feijão no sistema de plantio convencional

?	Modelo	Efeito Peptita (C ₀)	Patama r (C ₀ + C)	Alcance e (A ₀) (m)	r ²	SQR	Índice de dependência espacial	
							Classe	E
Atributos físicos do solo								
TA1	Esf.	4,8	84,71	16,4	0,44	6,85x1	Forte	Peq.
TA2	Gau.	42,6	85,21	28,8	0,93	6,9x10 ⁻	Forte	M.S.
TA3	Esp.	1,2	82,66	6,9	0,38	2,11x1	Forte	Peq.
Ds1	Exp.	0,0164	0,036	98,3	0,94	3,43x1	Mediana	M.S.
Ds2	Gau.	0,0124	0,03794	80,3	0,98	2,86x1	Fraca	Sig.
Ds3	Exp.	0,0180	0,04744	25,3	0,80	9,49x1	Fraca	M.S.
Dp1	Exp.	0,0005	0,0114	6,03	0,26	4,63x1	Fraca	Peq.
Dp2	Esf.	0,0001	0,0112	11,9	0,20	9,69x1	Mediana	Peq.
Dp3	Exp.	0,0011	0,01054	6,5	0,24	3,63x1	Mediana	Sig.
P1	Exp.	0,0047	0,00953	30,5	0,63	9,71x1	Fraca	M.S.
P2	Exp.	0,0010	0,01262	4,1	0,01	1,76x1	Mediana	Peq.
P3	Exp.	0,001	0,01120	5,5	0,36	1,07x1	Mediana	Sig.
Rp1	Gau.	0,0174	0,0558	48,9	0,99	6,7x10 ⁻	Fraca	M.S.
Rp2	Gau.	0,0469	0,159	45,6	0,99	5,5x10 ⁻	Fraca	M.S.
Rp3	Gau.	0,0563	0,1586	43,5	0,98	7,6x10 ⁻	Fraca	M.S.
Atributos da planta								
V/P	Exp.	0,83	9,43	16,30	0,32	2,55	Forte	Sig.
G/V	lin.	0,947	0,947	-	-	-	-	-
Pce	Esf.	0,32	2,151	17,9	0,53	0,0757	Forte	Sig.
G/P	Exp.	285,0	285,09	-	-	-	-	-
PGF	Exp.	113400	246500	15,32	0,70	9,69x1	Forte	Sig.

DSi = densidade do solo; DPi = densidade de partícula; TAI = teor de água no solo; Pi = Porosidade, RPi = resistência a penetração. i = 1 = 0 – 0,1m de profundidade, 2 = 0,1-0,2m de profundidade; 3 = 0,2 – 0,3m de profundidade. V/P = vagens por plantas; G/V = grãos por vagens; G/P = grãos por planta, PGF = produtividade de grãos de feijão, Pcem = peso de 100 grãos de feijão. E = Grau de aleatoriedade, M.S. = Muito significativa, Sig. = Significativa, Peq. = pequena.

Nenhum atributo físico do solo estudado neste trabalho apresentou efeito pepita puro, Carvalho et al.(2011) encontrou efeito pepita puro para os atributos de densidade das partículas e porosidade. Martins et al. (2009) encontrou efeito pepita para DS1, TA1 e P2. Para os atributos da planta foram encontrados efeito pepita puro para grãos/planta e grãos/vagens.

Em relação aos atributos físicos do solo que tiveram variabilidade espacial, em ordem decrescente em relação ao coeficiente de determinação espacial (r^2):RP2 (0,993), RP1 (0,992), RP3 (0,989), DS2 (0,982), DS1 (0,94), DS1 (0,94), TA2 (0,938), DS3 (0,809), P1 (0,638), TA1 (0,442), DP1 (0,266) e DP2 (0,201). Para os atributos da planta temos em primeiro PGF (0,708), PCEM (0,533), V/P (0,324).

Para o avaliador da dependência espacial temos as seguintes variáveis classificadas como forte: TA1 e TA2 para atributos físicos do solo, analisando a planta encontramos V/P, Pcem, G/P, PGF. Classificados como mediana temos DS1, DP2, DP3, P2 e P3, e G/V e, atributos da planta. Como fraca dependência espacial temos DS2, DS3, DP1, P2, RP1, RP2 E RP3, como observado no Quadro 13. Carvalho et al. (2006), Schaffrath et al.(2008), Montanari et al. (2009) e Cavalcante et al. (2011) realizando trabalhos similares também encontraram em quase todos os atributos dependências espaciais moderadas e fortes. O que mais difere são as dependências espaciais na resistência a penetração, classificadas como forte. Para grau de aleatoriedade encontramos os seguintes atributos classificados como muito significativa, TA2, DS1, DS3, P1, RP1, RP2 e RP3, classificados como significativa DS2, DP3, P3. E os atributos TA1,TA3, DP1, DP2 e P2 foram pequeno grau de aleatoriedade.

Em relação aos maiores alcances nos atributos físicos do solo temos DS1 (98,3m), DS2(80,3m), RP1 (48,9m), RP2 (45,6m) RP3 (43,5m), P1 (30,5m), TA2 (28,8m), DS3 (25,3m), TA1 (16,4m), DP2 (11,9m), TA3 (6,9m), DP3 (6,5m), DP1 (6m), P3 (5,5m), P2(4,1m) como pode ser visto no quadro 13. O alcance representa a distância, em metros, que um valor depende do outro, assim alcances maiores representam maior uniformidade na área.

Encontramos 5 variáveis com alcance menor que a distância entre amostras (10m) sendo assim nestes casos pode-se inferir que não existe dependência espacial nas condições estudadas.

No sistema convencional os maiores alcances foram encontrados nas camadas superficiais de cada atributo físico estudado, fato este, causado homogeneização do solo em toda área, enquanto que, no plantio direto a variabilidade existente na área se mantém e conseqüentemente o alcance é menor. Esta tendência foi encontrada por Montanari et al. (2011) e Dalchiavon et al. (2011).

Schaffrath et al.(2008) encontraram para a densidade do solo um alcance de 80,5m e para a resistência a penetração valores menores, 34,2m, 29,3m e 28 metros nas 3 faixas estudadas, para o teor de água encontrou pequenos alcances assim como neste trabalho. Carvalho et al. (2011) encontraram valores de alcance superiores para o teor de água de 34,05; 28,52; 26,53; 15,51m. Montanari et al. (2009) obtiveram em geral valores maiores para os alcances, sendo o maior para resistência a penetração em 0-0,10 m, com 110 m e 19,3 m para teor de água na faixa 0,10 - 0,20 m.

Para os atributos da planta o maior alcance se deu em Pcem (17,9 m), PGF (15,32 m), V/P (6,3 m). Já para a produtividade os mesmos autores encontraram valores maiores para o alcance, cerca de 17m, já Schaffrath et al. (2008) obtiveram valores similares.

As seguintes variáveis de atributos físicos do solo apresentaram um modelo no semivariograma exponencial TA3, DS1, DS3, DP1, DP3, P1, P2, P3. Os que apresentaram modelos esféricos foram TA1, DP2 e para modelos gaussianos foram RP1, RP2 e RP3. Para os atributos das plantas foram V/P, G/V, G/P e PGF. Para modelo esférico, apenas a variável Pcem apresentou modelo esférico.

No trabalho conduzido por Roque et al. (2008) foi encontrado um modelo exponencial para o semivariograma a densidade do solo nas três profundidades, teor de água na profundidade um e dois e para a porosidade 3, com alcances superiores a encontrada neste trabalho. Souza et al. (2001),

Santos et al.(2006) e Carvalho et al. (2006) encontraram também um modelo esférico, para a teor de água. Com relação ao alcance da dependência espacial, a resistência mecânica apresentou valores entre 95,2 m e 84,8 m.

No trabalho de Montanari et al. (2010) a porosidade apresentou um modelo gaussiano com um alcance de 32,3m. para a produtividade de grãos. Cavalcante et al. (2011), Megda et al. (2009), Dalchiavon et al. (2011), Freddi et al. (2006) encontraram um alcance de 45 m, 28,5 m, 52,3 m e 30,2 m respectivamente.

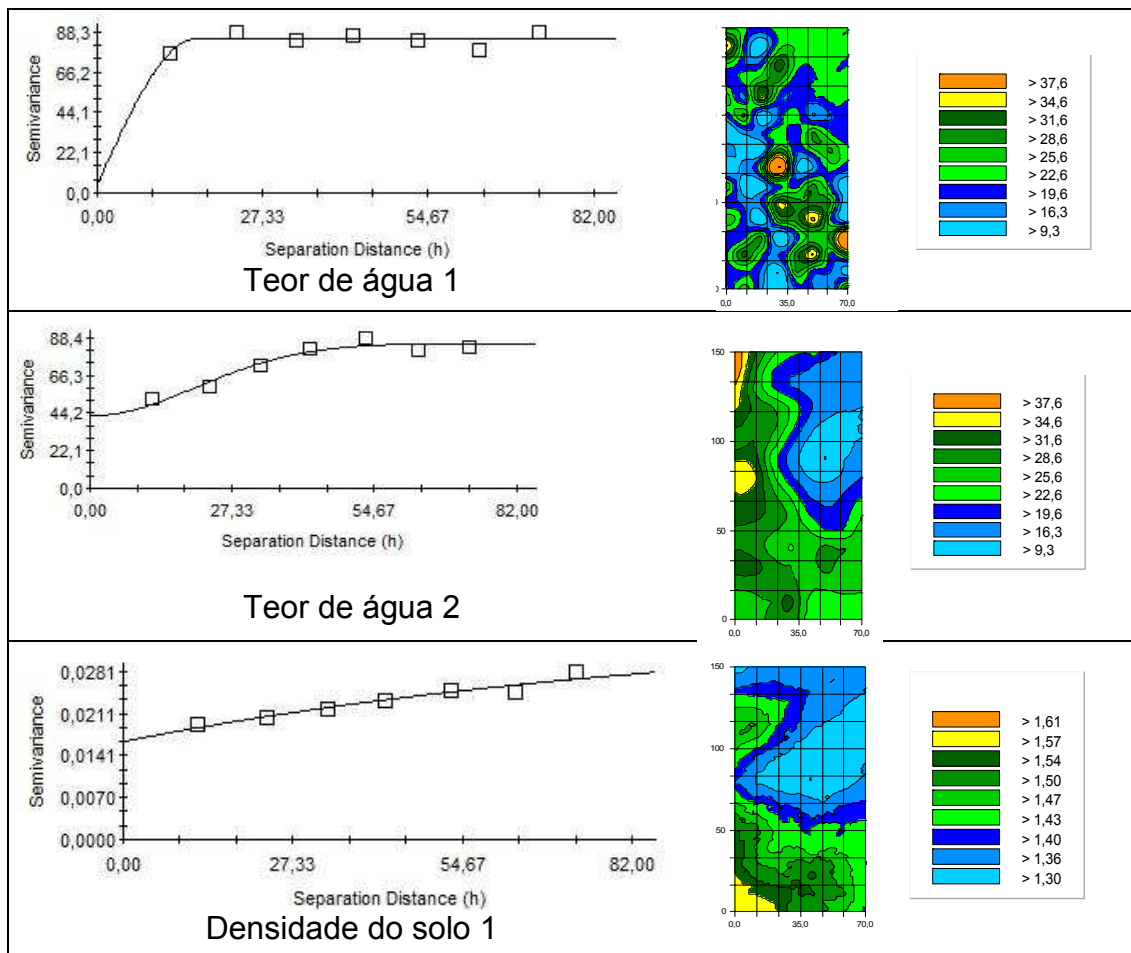
No Quadro 14 são apresentados semivariogramas simples da produtividade de grãos do feijão com as propriedades físicas em um sistema de preparo convencional. A existência de uma dependência espacial das variáveis estudadas, bem como suas semelhanças no comportamento entre elas, sugere que se analise a variabilidade espacial das propriedades do solo, antes de adotar um delineamento experimental, pois qualquer tratamento adotado nesta parcela necessita que necessite de uma homogeneidade, levará a falsos resultados.

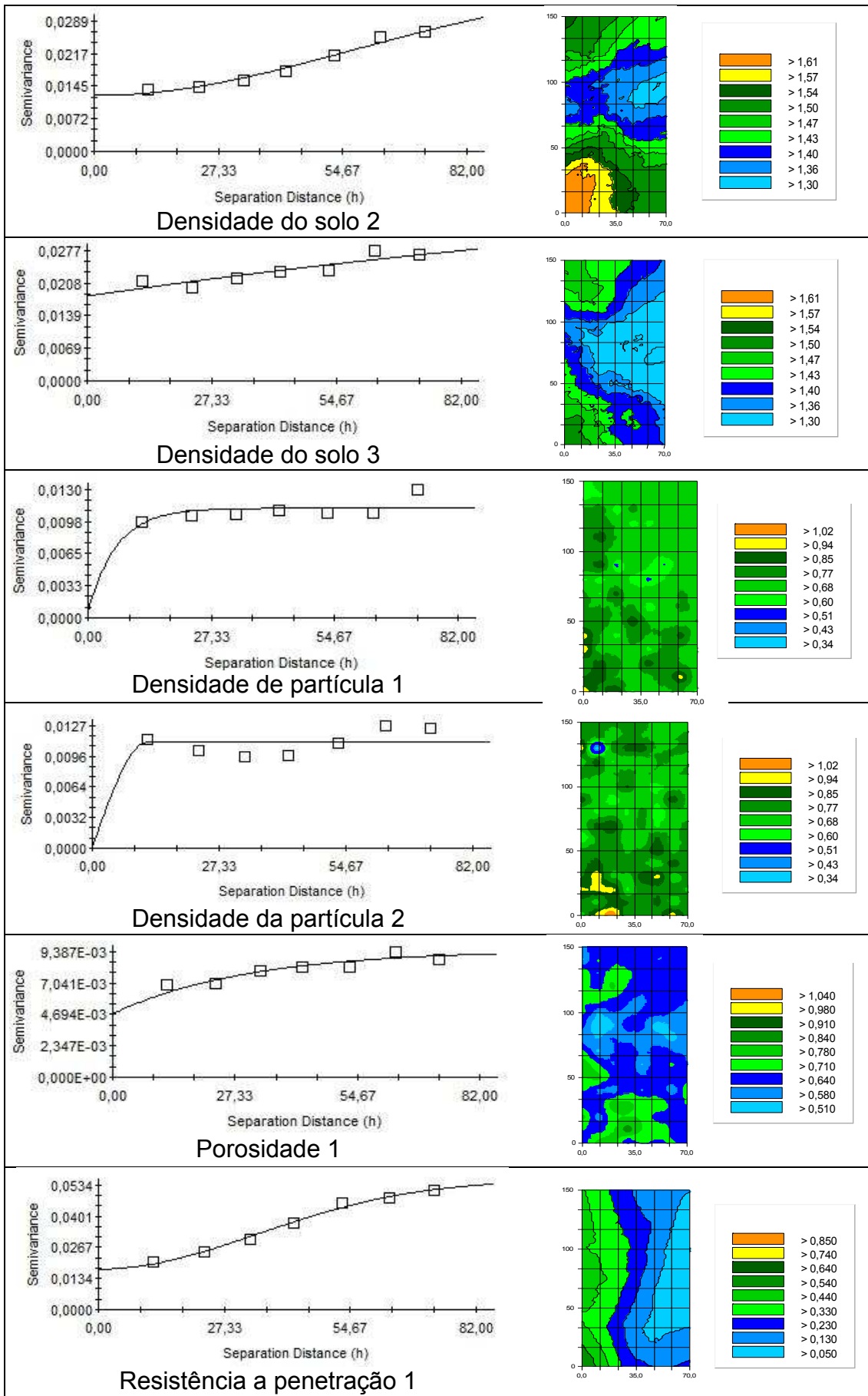
Podemos observar que não existe semelhança nos mapas de teor de água 1 e 2, mesmo estes pares apresentando uma correlação positiva significativa, conforme consta o quadro 10. Fato que não vai de encontro com trabalhos similares.

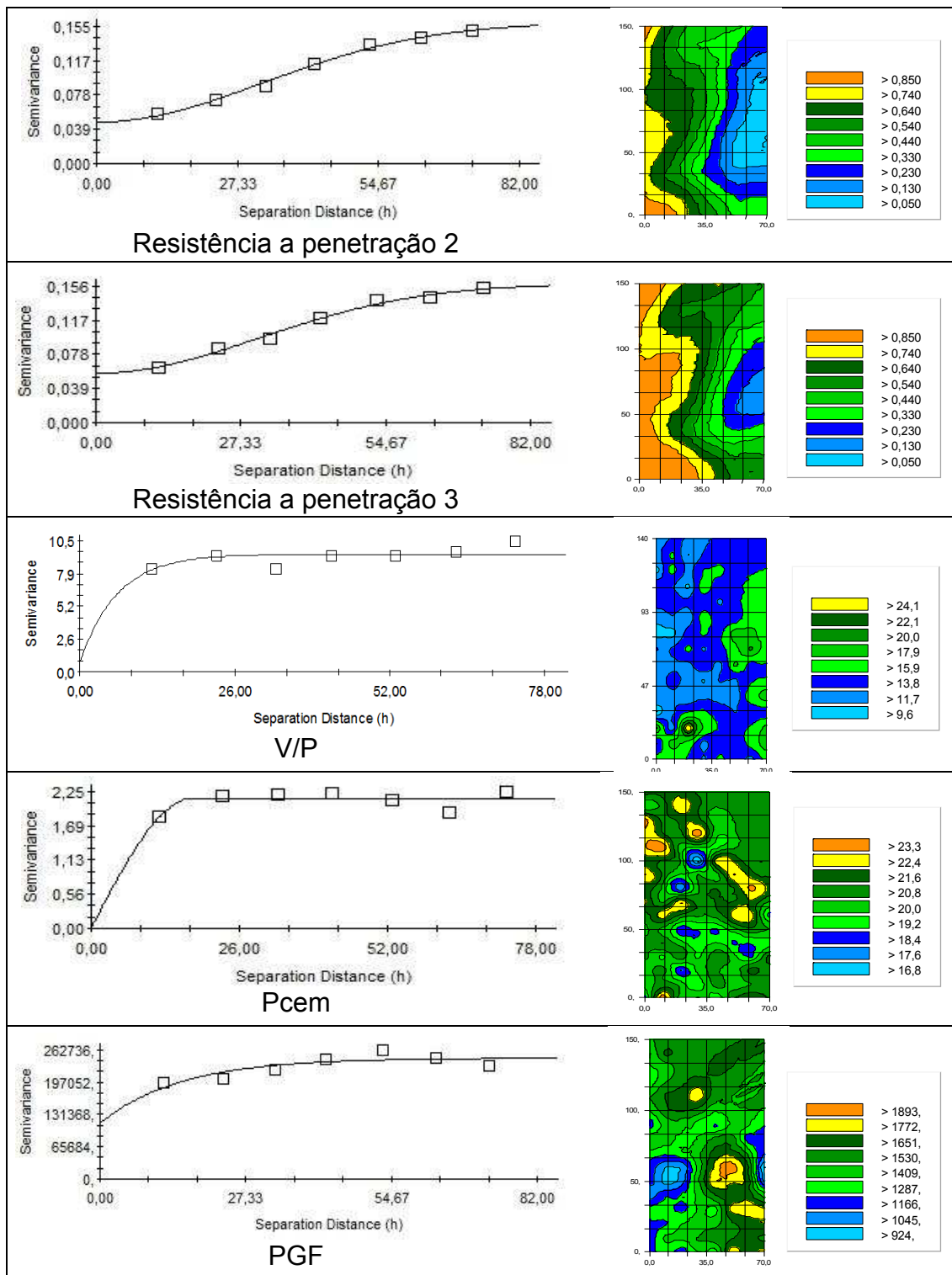
Os mapas de densidade do solo apresentam semelhanças nas três profundidades, ambos também tiveram correlações positivas, DS1 e DS2 0,24, DS1 e DS3 0,29 e DS2 e DS3 0,54, um resultado então esperado. Porém encontramos algumas correlações positivas para DS2 e DP1 (0,65), DS1 e DP1 (0,27), DS2 e DP2 (0,46), DS2 e DP3 (0,46), mais os mesmos não tiveram características de mapas semelhantes. Este fato também foi observado pelos pesquisadores Dalchiavon et al. (2011), e provavelmente se da pela ação de revolvimento do solo.

Os mapas de resistência a penetração apresentaram semelhança entre si, com um aumento nos valores a medida que se aproxima do centro do pivô, sendo os maiores valores obtidos na 3 camada estudada. Também observado por Montanari et al. (2010) e Cavalcante et al. (2011). E uma certa tendência de produção acompanha o mapa de resistência a penetração, com uma zona de baixa produção no centro do pivô central e uma outra zona de produção no exterior do pivô.

Quadro 14 – Semivariograma simples da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com preparo convencional e seus mapas de produtividade







4.7. Validação cruzada dos semivariograma simples ajustados.

A validação cruzada é um análise que compara os valores reais com valores obtidos através da krigagem, quanto mais próximo de 1 for o valor do

coeficiente de determinação (R^2), melhor, o resultado da validação cruzada. Os resultados da validação cruzada para os sistemas de preparo convencional e direto são apresentados nos Quadros 15 e 16, respectivamente.

Para o plantio direto os modelos em ordem decrescente do valor de coeficiente de regressão da validação cruzada para as variáveis de propriedade física do solo foi RP2 (0,993), seguidas por RP3 (0,875), P1 (0,838), DS3 (0,809), RP1 (0,466), P3 (0,387), TA3 (0,386), TA2 (0,313), DS2(0,257), P2 (0,089), DP1 (0,081), DP3 (0,049), DP2 (0,029) E TA1 (0,006). Para os atributos da planta, em primeiro V/P (0,324), seguidos por G/P (0,121), PGF (0,030), G/V(0,020) e Pcem (0,006).

Para o preparo convencional os modelos em ordem decrescente do valor de coeficiente de correlação da validação cruzada para as variáveis de propriedade física do solo foi RP3 (0,448), RP2 (0,477), RP1 (0,470), TA2 (0,274), TA3 (0,098), DS2 (0,082), DS1 (0,076), DP1 (0,075), P1 (0,065), DS3 (0,060), DP3 (0,046), P2 (0,050) e DP2 (0,010). Para os atributos da planta, em primeiro PGF (0,054), Pcem (0,001), conforme visto no Quadro 15.

Quadro 15 - Resultados da validação cruzada dos modelos de semivariograma simples ajustados para os atributos do solo e da cultura do feijão no sistema de plantio convencional.

Atributos	Coeficiente de determinação(r^2)	VO = a + b. VE	
		a	b
Atributos do Solo			
TA1	0,006	18,58	0,232
TA2	0,313	0,60	0,145
TA3	0,386	10,11	0,191
Ds1	0,152	0,19	0,215
Ds2	0,257	0,13	0,159
Ds3	0,809	0,54	0,262
Dp1	0,081	0,24	0,299
Dp2	0,029	0,44	0,254
Dp3	0,049	0,32	0,261
P1	0,838	0,68	0,212
P2	0,089	0,14	0,262
P3	0,387	0,51	0,222

Rp1	0,466	0,05	0,107
Rp2	0,993	0,03	0,103
Rp3	0,875	0,03	0,110
Atributos da Planta			
V/P	0,324	11,6	0,183
Pcem	0,006	18,68	0,151
PGF	0,03	911,12	0,230

DS = densidade do solo; DP = densidade de partícula; TA = teor de água no solo; P = Porosidade, RP = resistência a penetração. 1 = 0 – 0,1m de profundidade, 2 = 0,1-0,2m de profundidade; 3 = 0,2 – 0,3m de profundidade. V/P = vagens por plantas; G/V = grãos por vagens; G/P = grãos por planta, PGF = produtividade de grãos de feijão, Pcem = peso de 100 grãos de feijão

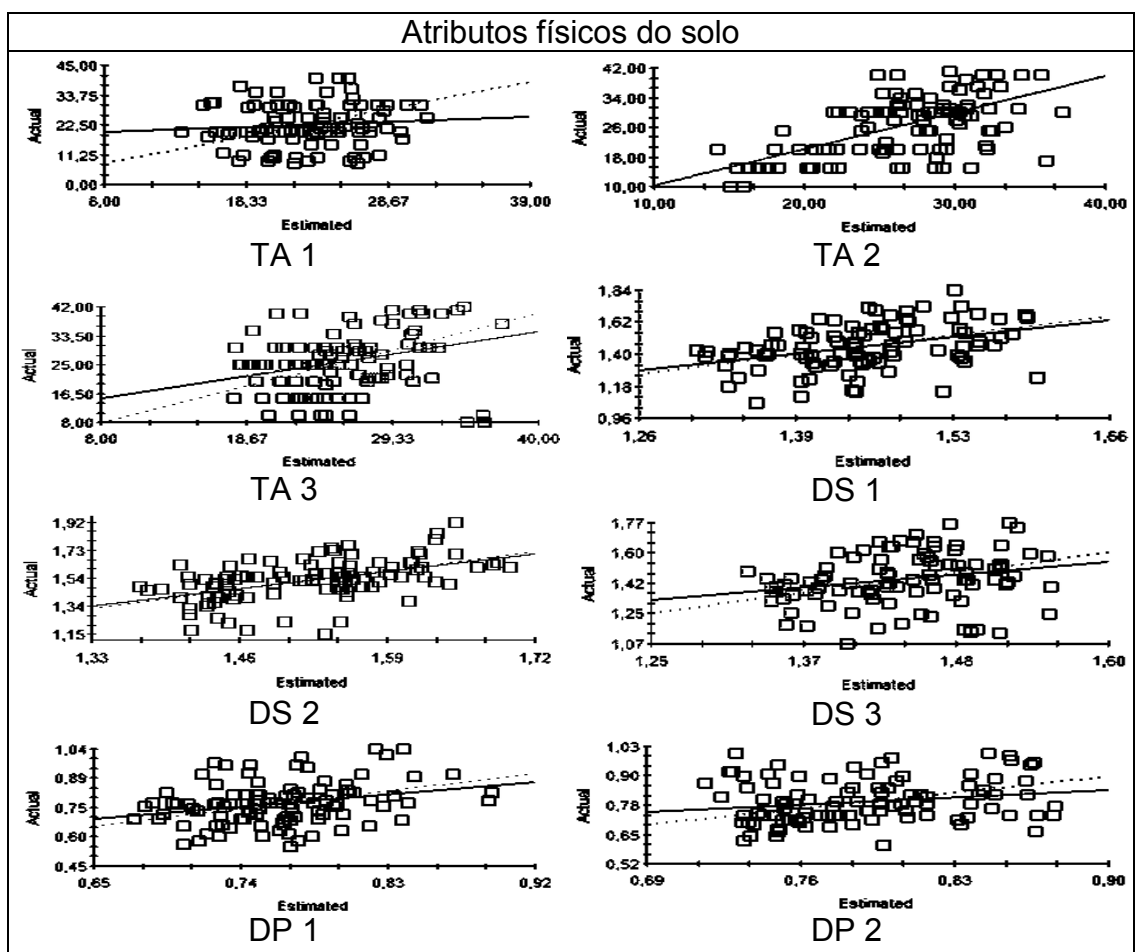
No geral o sistema de plantio direto tende a apresentar maiores coeficientes de regressão, pesquisadores afirmam por apresentarem uma distribuição mais uniforme das propriedades do solo e da produtividade da cultura. (CAVALCANTE et al. 2011; CARVALHO et al. 2011).

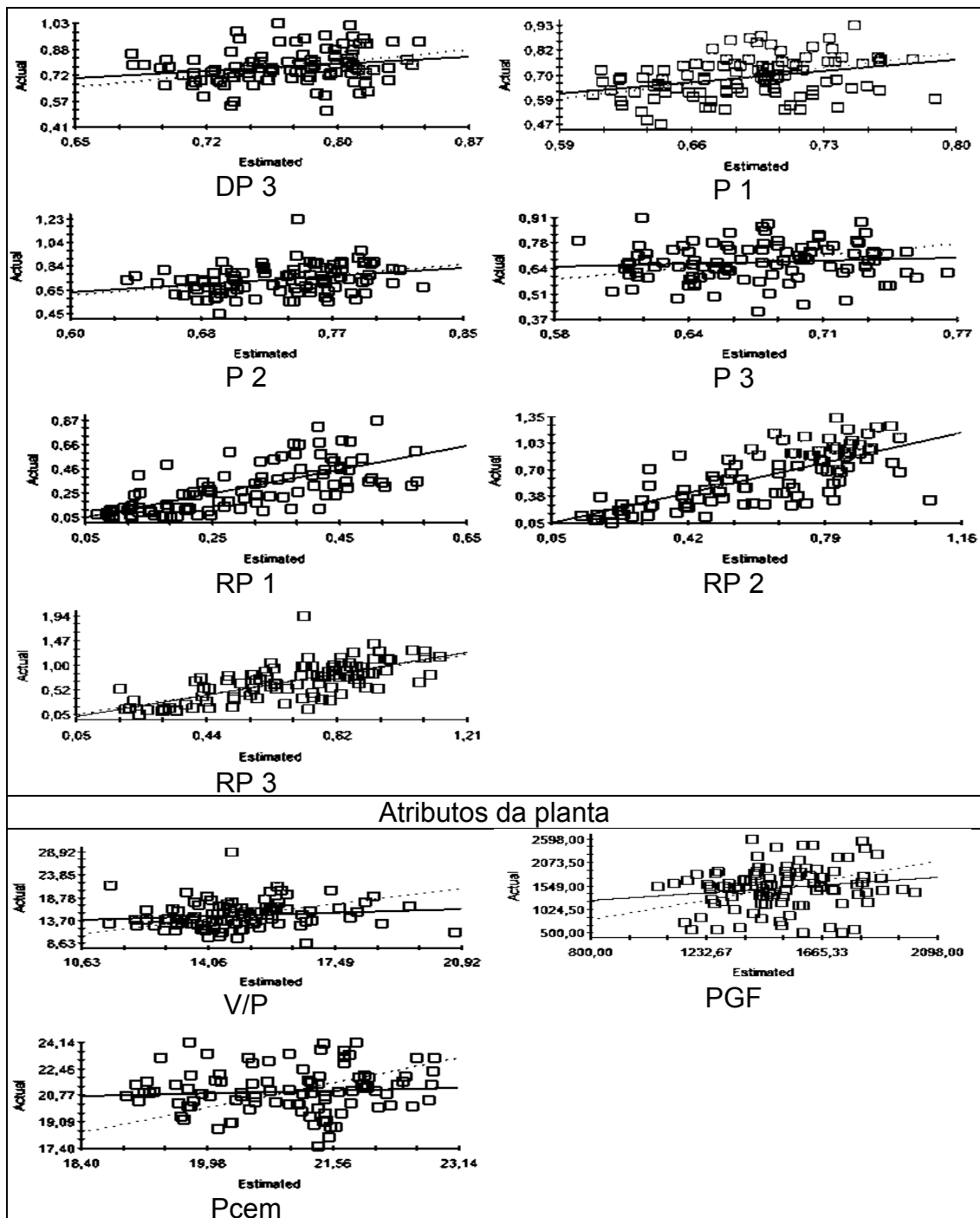
Quadro 16 – Resultados da validação cruzada dos modelos de semivariograma simples ajustados para os atributos do solo e da cultura do feijão no sistema de plantio direto.

Atributos	Coeficiente de determinação	VO = a + b. VE	
		a	b
Atributos do Solo			
TA1	-	-	-
TA2	0,274	2,26	0,149
TA3	0,098	8,32	0,207
Ds1	0,076	0,57	0,211
Ds2	0,082	0,67	0,188
Ds3	0,060	0,49	0,265
Dp1	0,075	0,30	0,213
Dp2	0,010	0,74	0,257
Dp3	0,046	0,39	0,230
P1	0,065	0,3	0,214
P2	0,05	0,33	0,339
P3	-	-	-
Rp1	0,470	0,1	0,103
Rp2	0,477	0,1	0,105
Rp3	0,448	0,07	0,123
Atributos da Planta			
V/P	0,001	13,43	0,284
G/V	-	-	-
Pcem	0,001	21,83	0,508
G/P	-	-	-
PGF	0,054	626,5	0,240

DS = densidade do solo; DP = densidade de partícula; TA = teor de água no solo; P = Porosidade, RP = resistência a penetração. 1 = 0 – 0,1m de profundidade, 2 = 0,1-0,2m de profundidade; 3 = 0,2 – 0,3m de profundidade. V/P = vagens por plantas; G/V = grãos por vagens; G/P = grãos por planta, PGF = produtividade de grãos de feijão, Pcem = peso de 100 grãos de feijão

Quadro 17 - Gráficos da validação cruzada dos modelos de semivariograma simples ajustados para os atributos do solo e da cultura do feijão no sistema de plantio convencional.

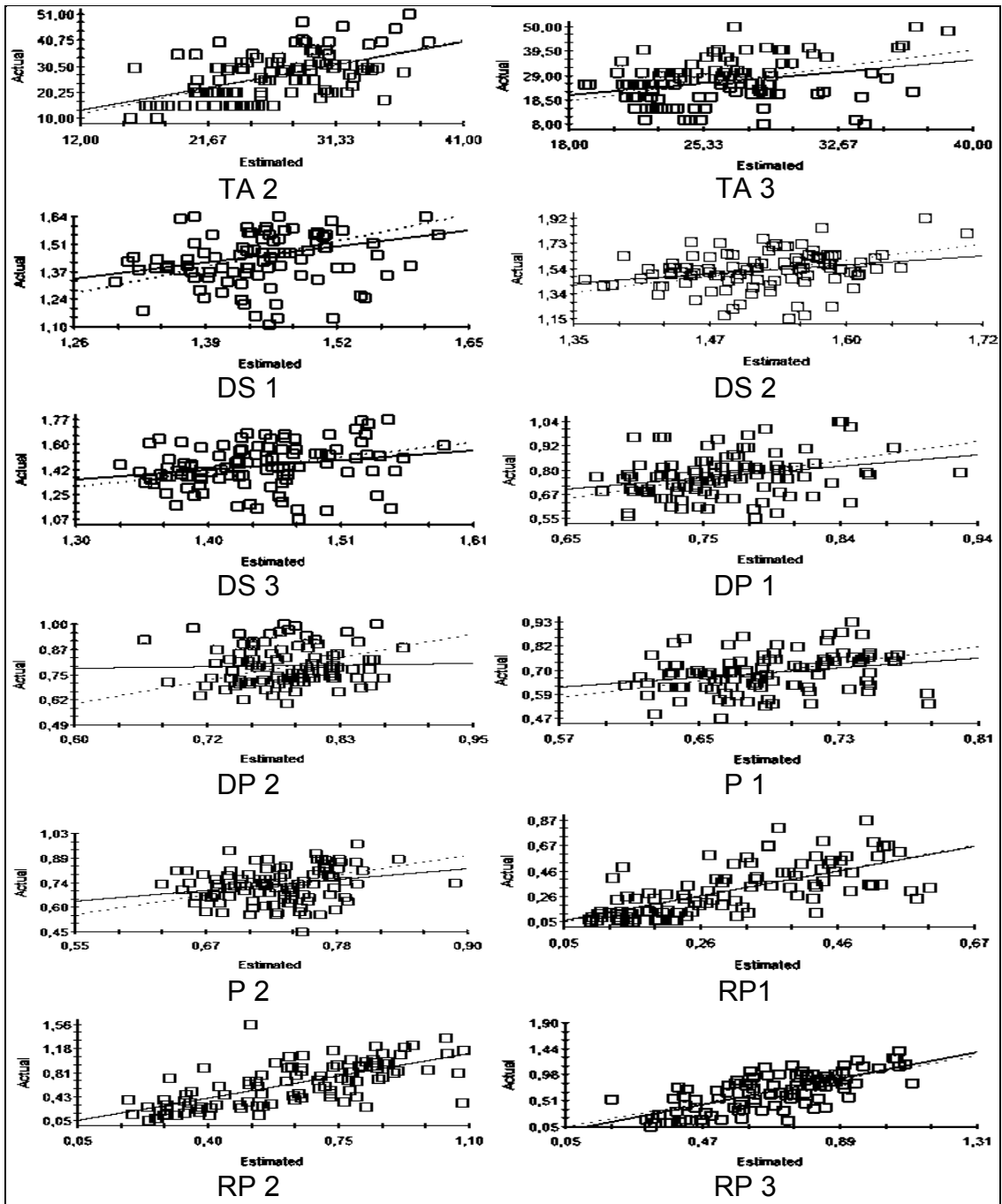




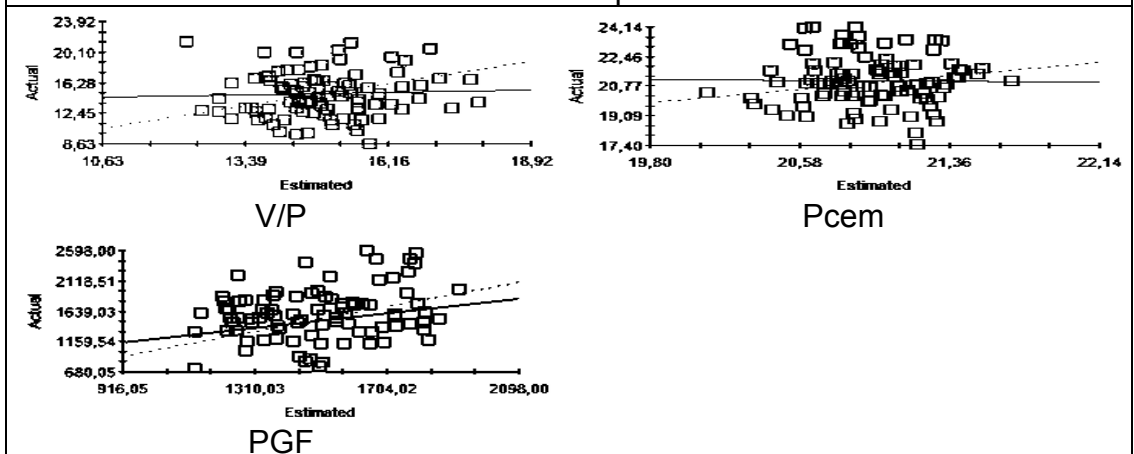
Atributos da planta

Quadro 18 - Resultados da validação cruzada dos modelos de semivariograma simples ajustados para os atributos do solo e da cultura do feijão no sistema de plantio direto.

Atributos físicos do solo



Atributos da planta



4.8. Análise dos Semivariograma cruzados entre a produtividade de grãos do feijão e as propriedades físicas em um solo com plantio direto.

No quadro 19 abaixo estão os semivariograma cruzados entre a produtividade de grãos da cultura do feijão com as propriedades físicas do solo em um sistema de plantio direto.

Em relação ao r^2 , o melhor ajuste de semivariograma foi para a PGF f [RP3] (0,922), seguido por PGF f [RP2] (0,899), PGF f [RP3] (0,886), PGF f [TA2] (0,668), PGF f [P2] (0,667), PGF f [DS2] (0,663), PGF f [DP1] (0,286), PGF f [DS1] (0,224), PGF f [P1] (0,128), PGF f [DP2] (0,077) e PGF f [DP3] (0,046). Entre os atributos da planta temos PGF f [V/P] (0,685) e PGF f [G/P] (0,469) (quadro 19).

Para o alcance temos o maior em PGF f [P2] (92m), seguido por PGF f [RP3] (55,3m), PGF f [RP2] (50,9m), PGF f [RP1] (47,1m), PGF f [TA2] (45,9m), PGF f [DS2] (45,4m), PGF f [DS1] (42,5m), PGF f [DP2] (23,5m), PGF f [P1] (17,4m), PGF f [DP1] (16,7m) PGF f [DP3] (10,5m).

Em relação aos alcances encontrados Porosidade entre 0,1 a 0,2m se apresentou como o maior, assim como para semivariograma simples, os alcances foram decaindo conforme se aproximam da superfície.

Schaffrath et al.(2008) encontraram para a produção em função da densidade do solo um alcance de 108,3m, sendo a maior neste trabalho, e encontrou alcances maiores em praticamente todos os outros atributos. Para a resistência a penetração valores menores, 74,3m, 79,3m e 68,2 metros nas 3 faixas estudadas. Carvalho et al. (2011) encontraram valores de alcance superiores para o teor de água, resistência a penetração e densidade do solo. Montanari et al. (2009) encontrou em geral valores compatíveis para os alcances, sendo o maior para resistência a penetração em 0-0,1m, com 90m.

Para os atributos da planta o maior alcance se deu em PGF f [V/P] (57,4m) e PFG f [G/P] (67m), já Schaffrath et al. (2008) encontrou valores maiores, Carvalho et al (2011) encontrou valores entre 75 e 63m e Montanari et al. (2009) valores menores do que as encontradas neste trabalho.

Quadro 19 – Semivariograma cruzados da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio direto

Atributo	Modelo	Efeito Pepita (C ₀)	Parâmetros				Índice de dependência espacial Classe	E
			Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR		
Atributos físicos do solo								
PGF = f(TA1)	Lin.	796,5	796,5	-	-	-	-	
PGF = f(TA2)	Gau.	326,4	796,5	45,90	0,668	3,64x10-	Mediano	M.S.
PGF = f(TA3)	Gau.	-558,1	-558,1	-	-	-	-	
PGF = f(Ds1)	Esf.	-1,18	-11,31	42,50	0,224	1,42x10-	Fraco	Peq.
PGF = f(Ds2)	Gau.	-3,45	-6,393	45,4	0,663	6,18x10-	Mediano	Peq.
PGF = f(Ds3)	Lin.	-7,423	-7,423	-	-	-	-	
PGF = f(Dp1)	Exp.	-1,72	-9,36	16,7	0,286	35,7	Fraco	Sig.
PGF = f(Dp2)	Lin.	-1,55	-1,55	-	-	-	-	
PGF = f(Dp3)	Exp.	-2,03	-5,536	10,50	0,046	69,4	Mediano	Peq.
PGF = f(P1)	Lin.	-0,013	-0,013	-	-	-	-	
PGF = f(P2)	Lin.	-4,13	-4,13	-	-	-	-	
PGF = f(P3)	Lin.	-2,04	-2,04	-	-	-	-	
PGF = f(Rp1)	Gau.	-5	-39,44	47,1	0,886	17,7	Fraco	Peq.
PGF = f(Rp2)	Gau.	-1	-61,95	50,9	0,899	49,9	Fraco	Peq.
PGF = f(Rp3)	Gau.	-6	-60,56	55,3	0,922	35,2	Fraco	Peq.
Atributos da planta								
PGF = f(V/P)	Gau.	1	208,6	57,4	0,685	26,41	Fraco	Peq.
PGF = f(G/V)	Lin.	132,92	132,92	-	-	-	-	
PGF = f(Pcem)	Lin.	7,61	7,61	-	-	-	-	
PGF = f(G/P)	Esf.	664	1921	67	0,469	147,2	Mediano	Sig.

DS = densidade do solo; DP = densidade de partícula; TA = teor de água no solo; P = Porosidade, RP = resistência a penetração. 1 = 0 – 0,1m de profundidade, 2 = 0,1-0,2m de profundidade; 3 = 0,2 –

0,3m de profundidade. V/P = vagens por plantas; G/V = grãos por vagens; G/P = grãos por planta, PGF = produtividade de grãos de feijão, Pcem = peso de 100 grãos de feijão. E = Grau de aleatoriedade, M.S. = Muito significativa, Sig. , Peq. = pequena.

Apenas o semivariograma para a PGF f[TA1] apresentou positiva, conforme visto no quadro 19, sinal de que ao aumentar um destes atributos do solo, houve um aumento no teor de água. Carvalho et al (2011) encontrou valores positivos para teor de água e porosidade do solo, Montanari et al. (2009) também só encontrou semivariograma positivo para os teores de água.

O semivariograma da PGF f [DS2], PGF f [DS2], PGF f [RP1], PGF f [RP2], PGF f [RP3] apresentaram modelo gaussiano, PGF f [DS1] modelo esférico, PGF f [TA2] (quadro 20). O semivariograma PGF f [DP3] apresentou modelo exponencial. Apenas o atributo TA2 tem grau de aleatoriedade classificada como muito significativo. DP1 foi classificado como significativo. Classificado como pequena temos os atributos de DS1, DS2, DP3, RP1, RP2, RP3.

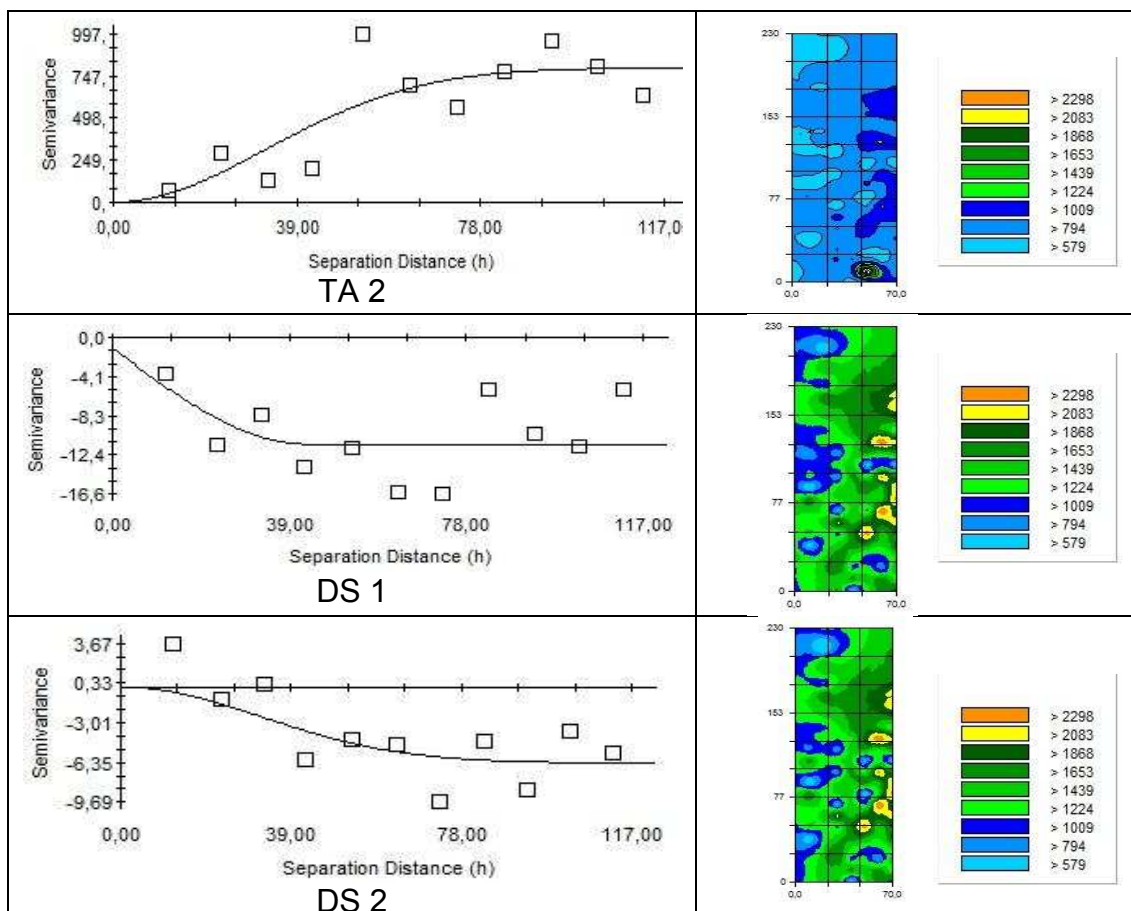
Para os parâmetros da planta todos apresentam positivos, sendo o PGF f [V/P] apresentou modelo gaussiano e PGF f [G/P] apresentou modelo esférico.

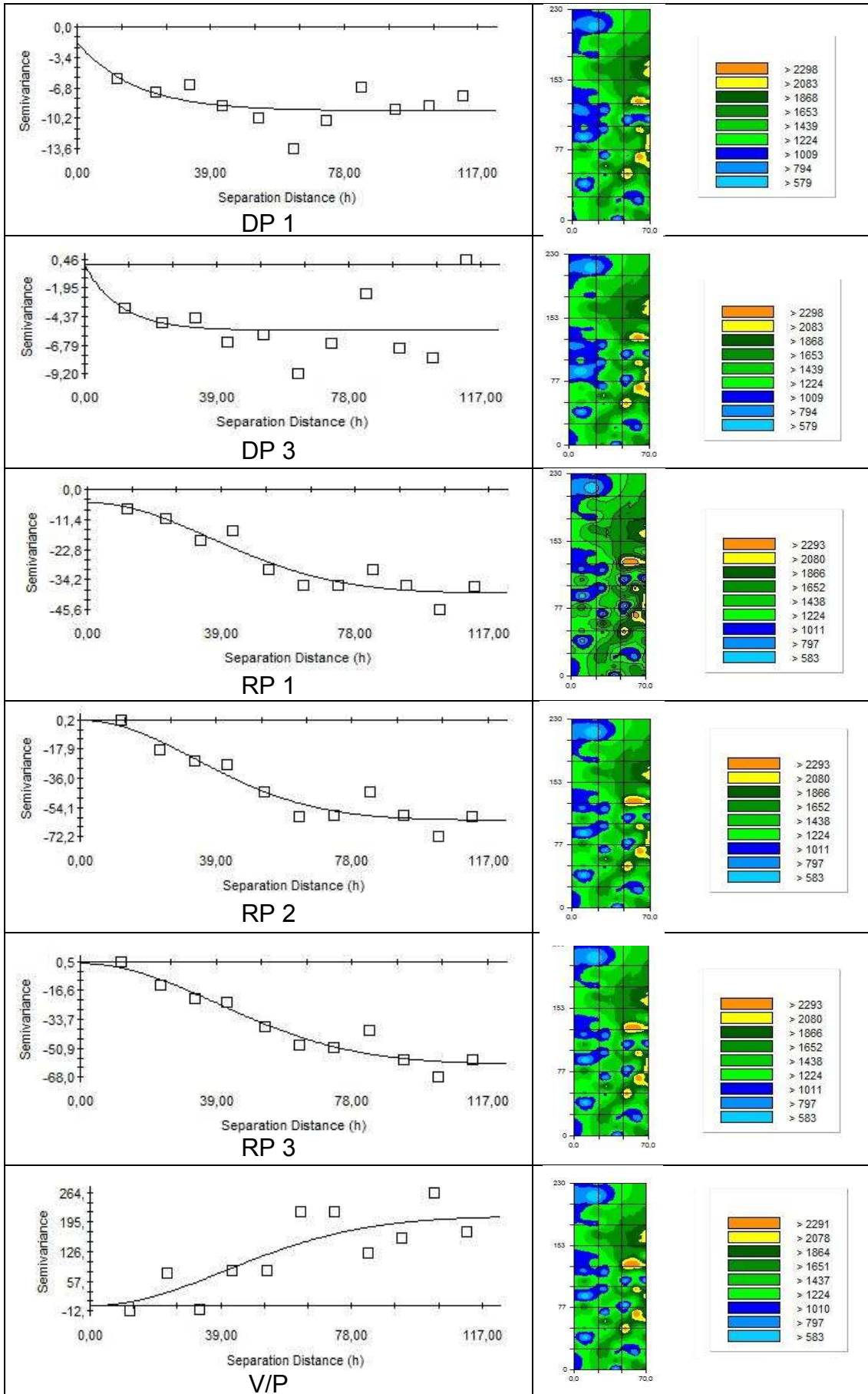
No Quadro 20 são apresentados semivariograma cruzados da produtividade de grãos do feijão com as propriedades físicas em um sistema de plantio direto. É possível observar semelhanças nos mapas de densidade do solo 1 e 2 e densidade da partícula 1, ambos com correlações negativas com a produção de grãos de feijão, o que explica o semivariograma negativo. Densidade da partícula 2 e 3 não apresentaram semelhanças. Os três níveis de resistência a penetração apresentam grande semelhança nas curvas do mapa, assim como Carvalho et al. (2011) e Montanari et al. (2011). Dos atributos do solo o único que apresentou semivariograma positivo foi para o teor de água no solo, mais uma vez comprovando a influência negativa da compactação na produção de grãos de feijão.

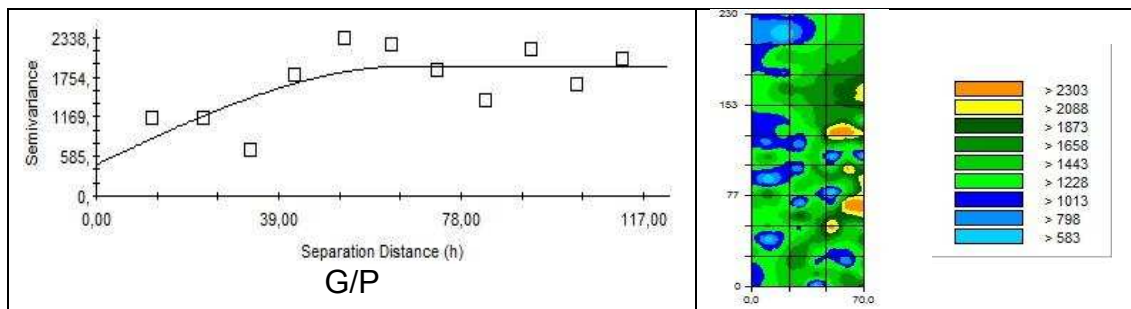
Para as relações dos componentes de produtividade com a produção dos grãos de feijão, há uma semelhança entre os mapas de vagens/planta e grãos/plantas, apenas este apresentou correlação positiva (0,31). A

semelhança dos dois mapas também se dá quando observamos os três mapas de resistência a produção, e as maiores produções se dão na parte externa do pivô central.

Quadro 20 – Semivariograma cruzado da produtividade de grãos do feijão com propriedades físicas em um solo com plantio direto e seus mapas de produtividade.







4.9. Análise dos Semivariograma cruzados entre a produtividade de grãos do feijão e as propriedades físicas em um solo com sistema de preparo convencional.

Na Quadro 21 abaixo estão os semivariograma cruzados entre a produtividade de grãos da cultura do feijão com as propriedades físicas do solo em um sistema de preparo convencional.

Em relação ao r^2 , o melhor ajuste de semivariograma foi para PGF f [RP2] (0,946), PGF f [RP3] (0,929), PGF f [RP1] (0,924), PGF f [DS2] (0,896), PGF f [DP1] (0,788), PGF f [TA2] (0,779), PGF f [DP2] (0,684), PGF f [DS1] (0,642), PGF f [DP3] (0,117), PGF f [P1] (0,003). Entre os atributos da planta temos PGF f [V/P] (0,685) e PGF f [G/P] (0,469) (Quadro 21).

Para o alcance entre os atributos físicos do solo temos o maior em PGF f [DP1] (91,2m), seguido por PGF f [DS1] (61,6), PGF f [DP3] (57,2m), PGF f [DS2] (48,7m), PGF f [RP3] (43,3m), PGF f [RP2] (39,6m), PGF f [RP1] (36,7m), PGF f [TA2] (29,5), conforme visto no quadro 21. Na pesquisa de Carvalho et al (2011), o maior alcance se deu para PFG f [RP2] com alcance de 95m, mas de uma forma geral os alcances tiveram valores parecidos, ficando a maioria entre 25 a 60m. Montanari et al. (2009) encontrou um

maior valor de alcance ainda menor, 65m para PGF f [RP2], e valores mais baixos que este trabalho em praticamente todos os atributos.

Para o alcance entre os atributos da planta encontramos PGF f [G/P] (89,2m) e PGF f [V/P] (76,8m). Com modelos gaussianos para ambos.

Apenas o semivariograma para a PGF f[TA2] foi positivo, conforme visto no quadro 21, os restantes dos atributos físicos do solo apresentaram semivariograma negativo sinal de que ao aumentar um destes atributos do solo, houve uma diminuição das propriedades físicas do solo. Ambos atributos estão relacionados a compactação do solo, ou seja, solos mais compactados a produção de grãos de feijão fica afetada.

Quadro 21 – Semivariograma cruzados da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com preparo convencional.

Atributo	Modelo	Efeito Pepita (C ₀)	Parâmetros				Índice de dependência espacial	E
			Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀) (m)	r ²	SQR		
Atributos físicos do solo								
PGF = f(TA1)	Gau.	47,0	47,0	-	-	-	-	-
PGF = f (TA2)	Gau.	64,0	972,0	29,5	0,779	14,86	Fraco	Peq.
PGF = f (TA3)	Gau.	33,2	33,2	-	-	-	-	-
PGF = f (Ds1)	Gau.	-5,82	-19,11	61,6	0,642	41,5	Mediano	M.S.
PGF = f (Ds2)	Gau.	-1	-11,19	48,7	0,896	-0,01	Fraco	Peq.
PGF = f (Ds3)	Lin..	-4,03	-4,03	-	-	-	-	-
PGF = f (Dp1)	Gau.	-13,05	-26,09	91,2	0,788	25,1	Mediano	M.S.
PGF = f (Dp2)	Gau.	-0,01	-0,01	-	-	-	-	-
PGF = f (Dp3)	Esf.	-1,31	-3,57	57,2	0,117	14,5/	Mediano	M.S.
PGF = f (P1)	lin.	-2,776	-2,776	-	-	-	-	-
PGF = f (P2)	Lin.	-6,03	-6,03	-	-	-	-	-
PGF = f (P3)	Lin.	-5,03	-5,03	-	-	-	-	-
PGF = f (Rp1)	Gau.	-1,4	-43,95	36,7	0,924	98,6	Fraco	M.S.
PGF = f (Rp2)	Gau.	-0,1	-76,59	39,6	0,946	31,8	Fraco	S.
PGF = f (Rp3)	Gau.	-0,1	-70,2	43,3	0,929	35,2	Fraco	S.
Atributos da planta								

PGF = f(V/P)	Gau.	45,0	400,1	76,80	0,909	36,94	Fraco	Peq
PGF = f(G/V)	Lin.	47,0	47,0	-	-	-	-	-
PGF = f(Pcem)	Lin.	-2,32	-2,32	-	-	-	-	-
PGF = f(G/P)	Gau.	1100,0	6310,0	89,2	0,809	12,84	Fraco	Peq.

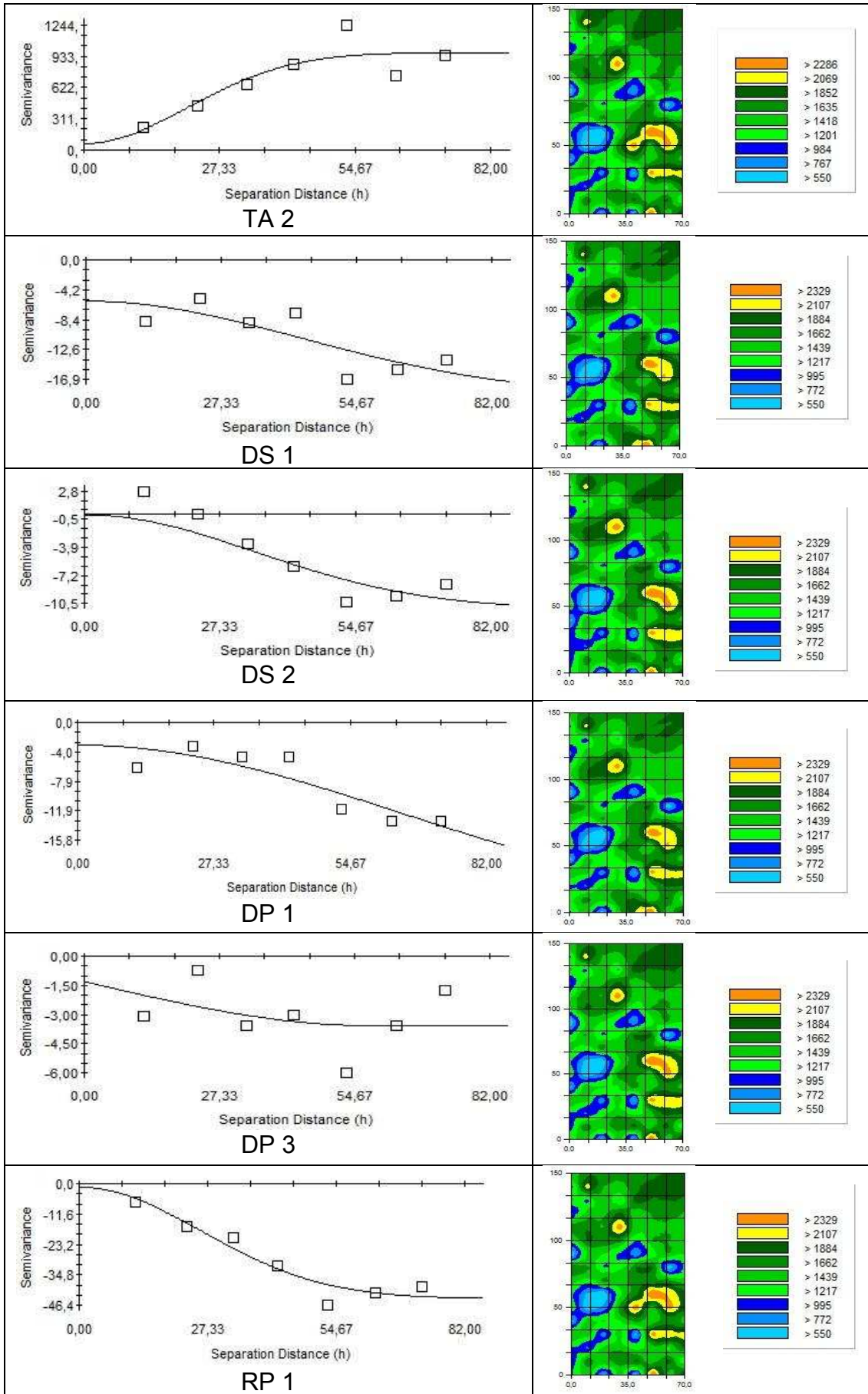
DS = densidade do solo; DP = densidade de partícula; TA = teor de água no solo; P = Porosidade, RP = resistência a penetração. 1 = 0 – 0,1m de profundidade, 2 = 0,1-0,2m de profundidade; 3 = 0,2 – 0,3m de profundidade. V/P = vagens por plantas; G/V = grãos por vagens; G/P = grãos por planta, PGF = produtividade de grãos de feijão, Pcem = peso de 100 grãos de feijão. E = Grau de aleatoriedade, M.S. = Muito significativa, Sig.= significativo, Peq. = pequena.

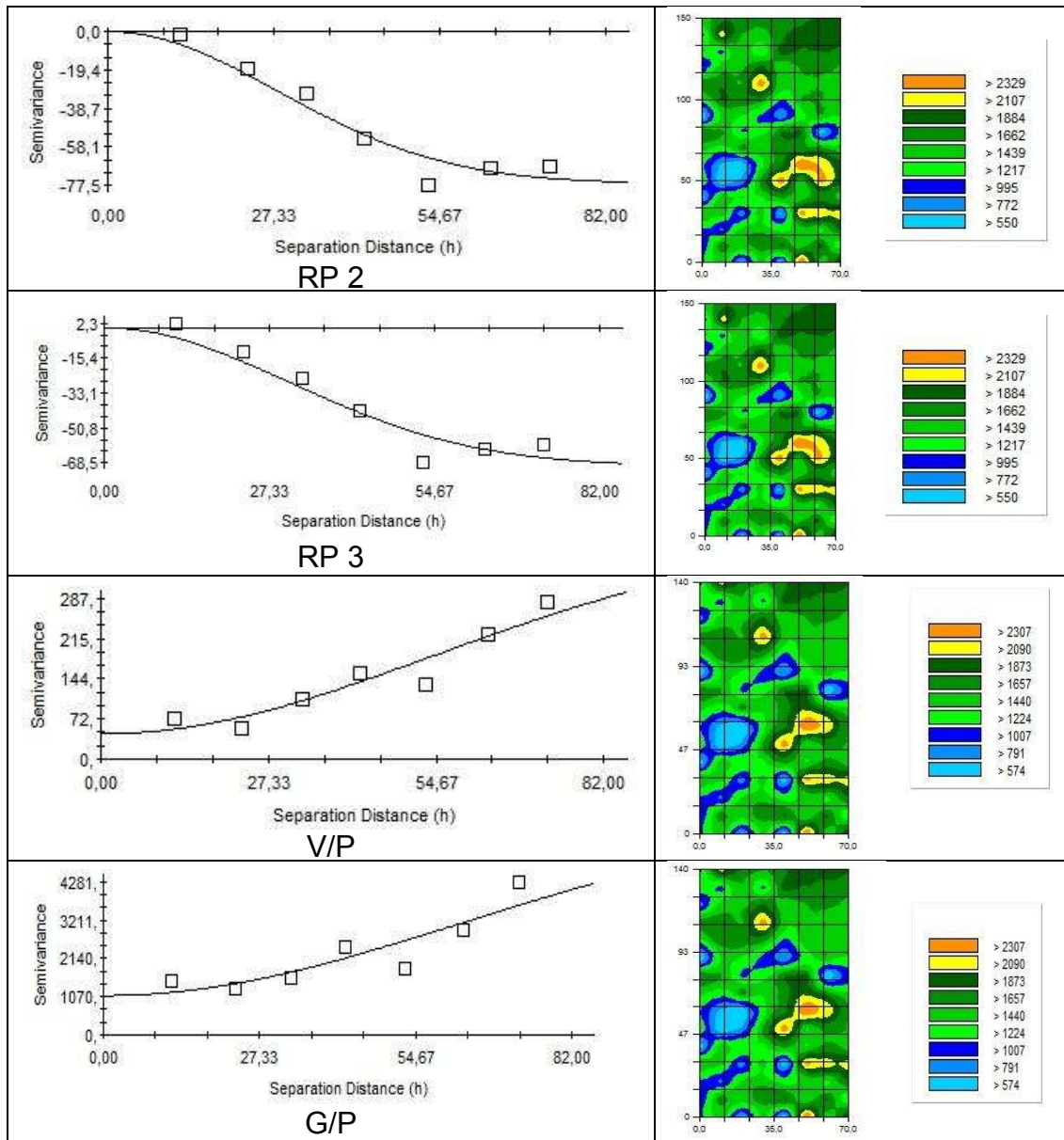
Para os modelos os semivariograma que apresentaram modelo gaussiano foram PGF f [TA2], PGF f [DS1], PGF f [DS2], PGF f [DP1], PGF f [DP2], PGF f [RP1], PGF f [RP2] e PGF f [RP3]. Para modelo esférico temos o PGF f [DP3].

No Quadro 22 são apresentados semivariograma cruzados da produtividade de grãos do feijão com as propriedades físicas em um sistema convencional de plantio. Nesta análise fica bem evidente que todos os mapas obtidos têm padrões semelhantes. Dificultando a análise isolada de cada atributo, uma vez que as baixas produções ficarem sempre nas mesmas zonas. É possível observar uma produção de grãos de feijão mais acentuada nas extremidades do pivô central, com alguns picos de produção.

Os semivariograma negativos demonstram a influência negativa dos altos valores destas variáveis para a produção de grãos de feijão. Para semivariograma positivos temos o teor de água 2 e os atributos de produção de feijão (vagens e grãos por planta).

Quadro 22 – Semivariograma cruzado da produtividade de grãos do feijão com as propriedades físicas em um solo com sistema convencional e seus mapas de produtividade





4.10. Validação cruzada dos semivariograma simples ajustados.

A validação cruzada é um análise que compara os valores reais com valores obtidos através do semivariograma, quando mais próximo de 1 for o valor do coeficiente de determinação (R^2), melhor, os resultados da validação cruzada. As validações cruzadas, para ambos os preparos de solo, estão dispostas no quadro 23.

Para o sistema de preparo convencional do solo entre os atributos físicos do solo, o maior r foi para o RP2 (0,752) e RP3 (0,744), RP1 (0,624),

DS2 (0,630), DP3 (0,353), TA2 (0,122), DP2 (0,060) e DS1 (0,010) para os atributos da planta temos o maior G/P (0,821) seguido V/P (0,810), como visto no quadro 23.

Para o plantio direto os modelos em ordem decrescente do valor de coeficiente de correlação da validação cruzada para as variáveis de propriedade física do solo foram para a variável de RP3 (0,731), seguida por RP1 (0,723), RP2 (0,719), DP3 (0,461), DP1 (0,375), TA3 (0,180), TA2 (0,142), DS2 (0,17) e DS1 (0,013). Entre os atributos da planta V/P (0,712).

No geral o plantio direto apresenta melhores coeficientes de correlação, pesquisadores afirmam por apresentarem uma distribuição mais uniforme das propriedades do solo e da produtividade da cultura. (CAVALCANTE et al. 2011; CARVALHO et al. 2011). Porém neste estudo ambos os sistemas apresentaram valores parecidos, sendo os melhores R^2 encontrado nas resistências a penetração nas três faixas estudadas. Para os atributos da planta o sistema convencional encontrou valores um pouco maiores, porém em atributos diferentes que no plantio direto.

Dalchiavon et al. (2011), trabalhando com correlação espacial da produção de feijão com atributos físicos do solo encontrou grande correlação para a resistência a penetração, densidade do solo e teor de água.

Quadro 23 – Validação cruzada dos semivariograma cruzados da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio convencional

Atributos	Coeficiente de correlação (r^2)	VO = a + b. VE	
		a	b
Atributos do Solo			
TA1	-	-	-
TA2	0,122	0,60	1430,26
TA3	-	-	-
Ds1	0,010	0,161	1305,11
Ds2	0,630	0,153	1325,39
Ds3	-	-	-
Dp1	0,010	0,161	1305,11

Dp2	-	-	-
Dp3	0,353	0,154	1352,07
P1	-	-	-
P2	-	-	-
P3	-	-	-
Rp1	0,624	0,152	1377,76
Rp2	0,752	0,157	1377,21
Rp3	0,744	0,132	1347,22
Atributos da Planta			
V/P	0,81	0,158	1453,41
G/V	-	-	-
Pcem	-	-	-
G/P	0,821	0,159	1495,95

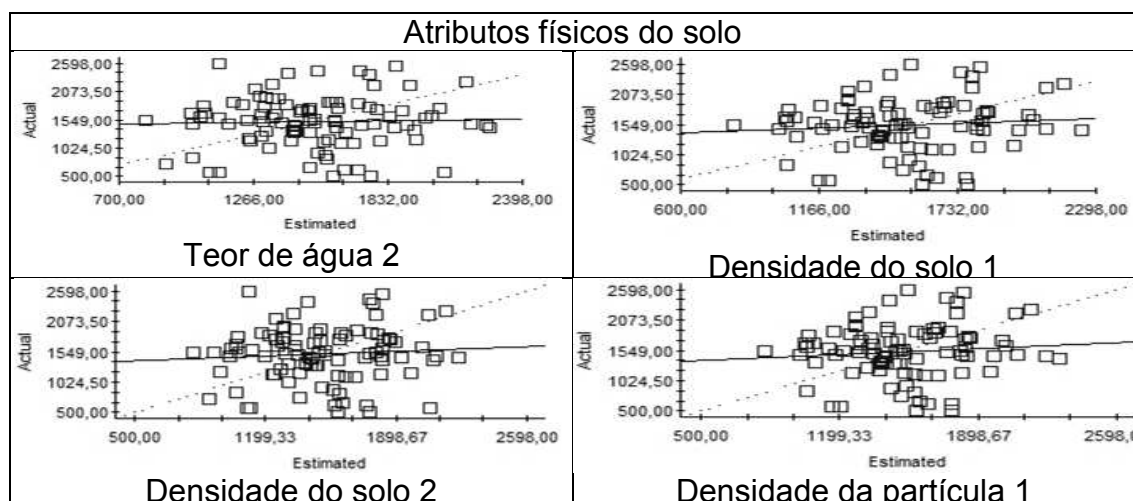
DS = densidade do solo; DP = densidade de partícula; TA = teor de água no solo; P = Porosidade, RP = resistência a penetração. 1 = 0 – 0,1m de profundidade, 2 = 0,1-0,2m de profundidade; 3 = 0,2 – 0,3m de profundidade. V/P = vagens por plantas; G/V = grãos por vagens; G/P = grãos por planta, PGF = produtividade de grãos de feijão, Pcem = peso de 100 grãos de feijão

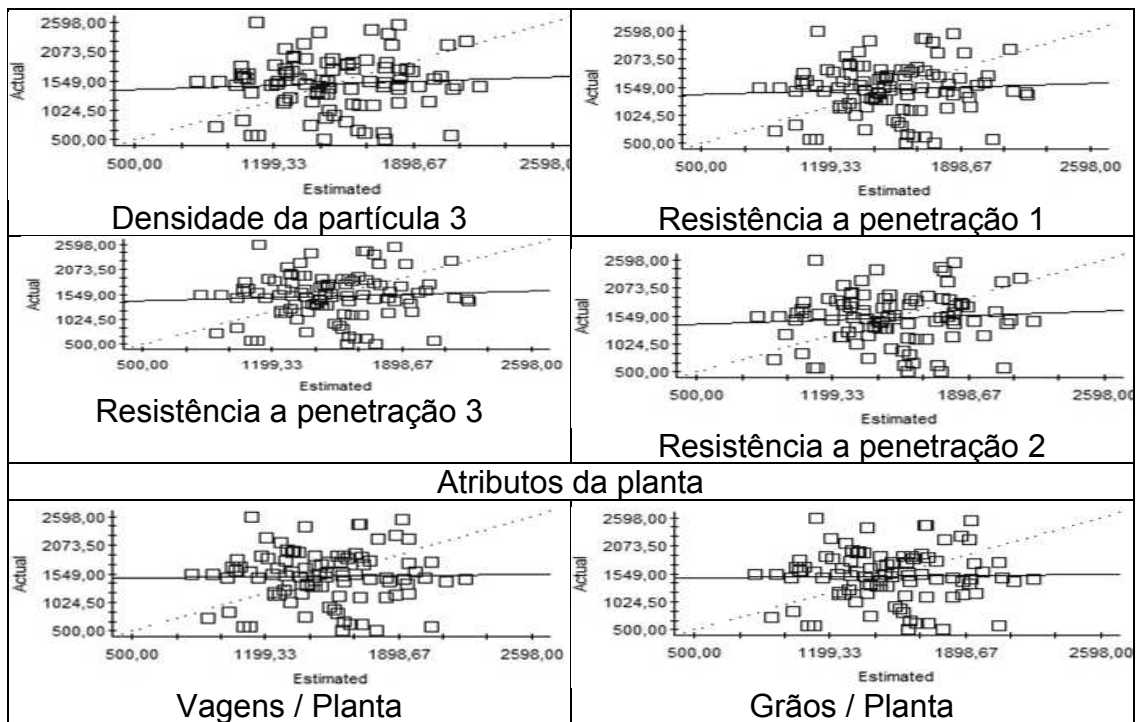
Quadro 24 – Validação cruzada dos semivariogramas simples da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio direto

Atributos	Coeficiente de correlação (r^2)	VO = a + b. VE	
		a	b
Atributos do Solo			
TA1	-	-	-
TA2	0,142	0,160	1238,78
TA3	0,180	0,152	1223,42
Ds1	0,013	0,155	1467,07
Ds2	0,017	0,159	1206,51
Ds3	-	-	-
Dp1	0,375	0,213	0,30
Dp2	-	-	-
Dp3	0,461	0,23	0,39
P1	-	-	-
P2	-	-	-
P3	-	-	-

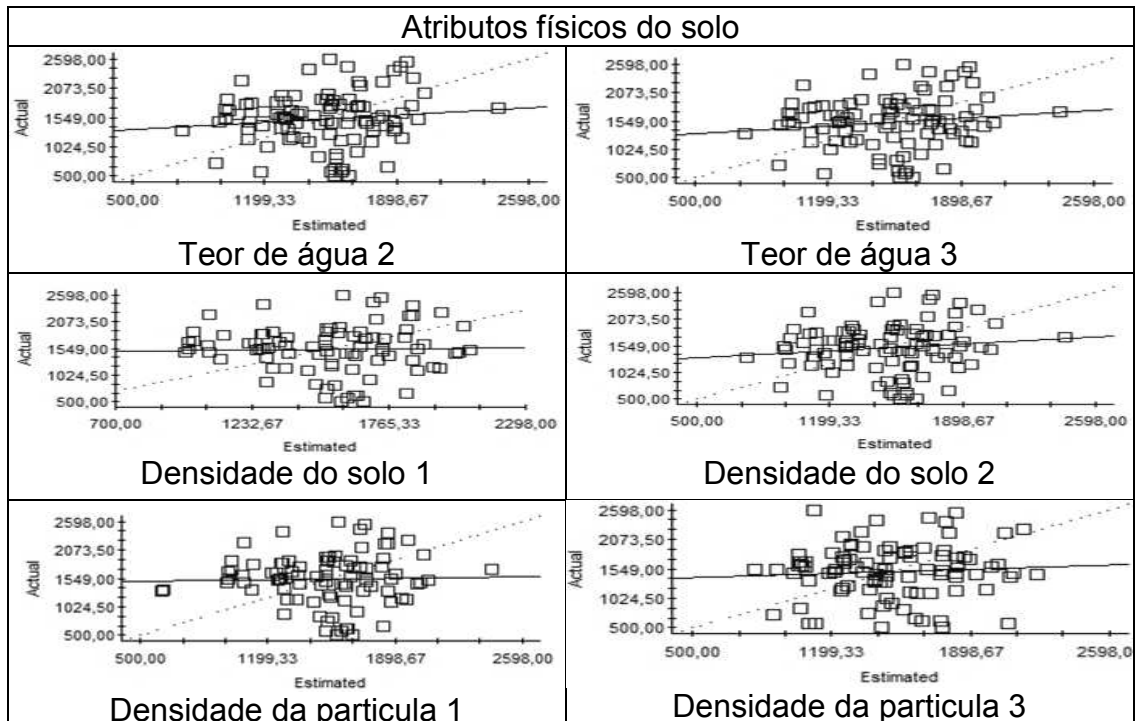
Rp1	0,723	0,156	1187,80
Rp2	0,719	0,157	1188,90
Rp3	0,731	0,166	1187,80
Atributos da Planta			
V/P	0,712	0,284	13,34
G/V	-	-	-
Pcem	-	-	-
G/P	-	-	-

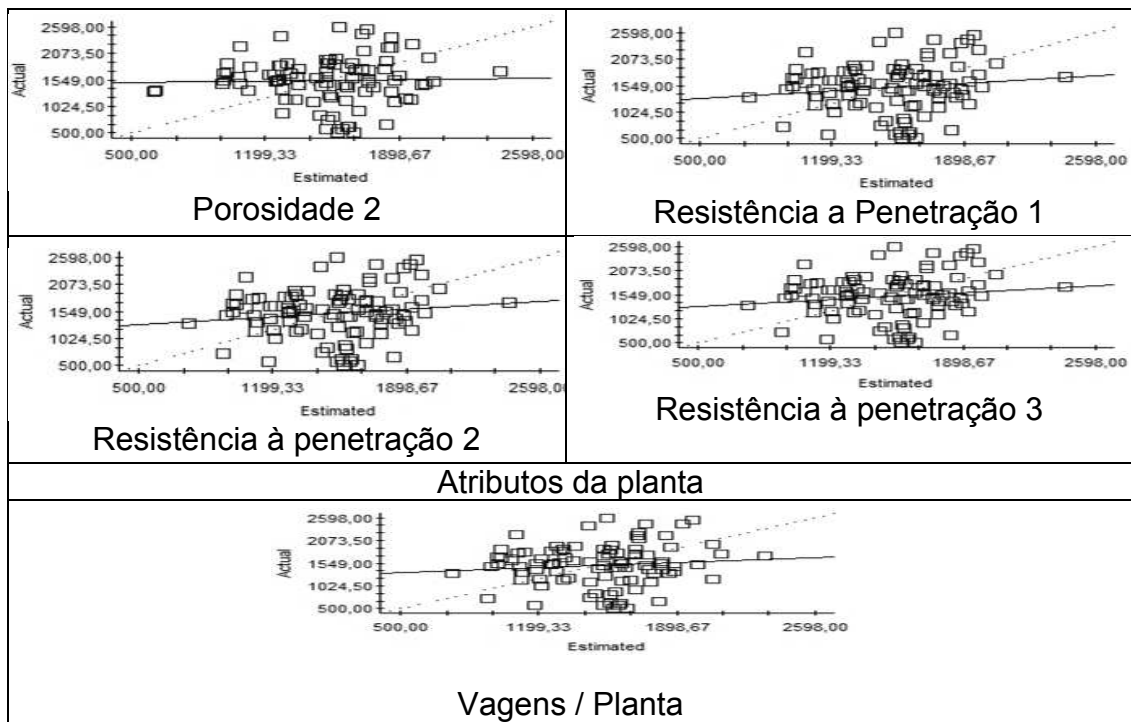
Quadro 25 - Validação cruzada dos semivariogramas cruzados da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio convencional





Quadro 26 - Validação cruzada dos semivariograma simples da produtividade de grãos do feijão e propriedades físicas em um solo com plantio direto





5. CONCLUSÕES

Os atributos estudados não variaram aleatoriamente: apresentaram variabilidade entre alta, média e baixa dos dados e seguiram padrões espaciais bem definidos.

Do ponto de vista espacial, houve correlação negativa entre a produção de grãos e os atributos do solo, apenas o teor de água apresentou correlação positiva.

Os semivariograma cruzados conseguiram reproduzir de forma satisfatória o comportamento espacial dos atributos no mesmo padrão dos semivariograma simples, possibilitando seu uso para estimar a produção de grãos de feijão.

Os valores de alcance encontrados nos semivariograma simples foram maiores no sistema de plantio direto do que no sistema convencional de plantio, o que demonstra a maior uniformidade do solo neste sistema.

Valores mais altos de compactação do solo foram encontrados no sistema de plantio direto, porém o feijão não apresentou queda em sua produção, tendo valores estatístico iguais nos 2 sistemas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ALTIKAT, S.; CELIL, A. The effects of tillage and intra-row compaction on seedbed properties and red lentil emergence under dry land conditions. **Soil & Tillage Research**, v. 114, p. 11-19, 2011.

ASSIS, R.L. & LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.29,p.515-522, 2005.

BOTTA, G. F.; RIVERO, D.; TOURN, M.; MELCON, F. B.; PIZZOLO, O.; NARDON, G.; BALBUENA, R.; BACERRA, A. T.; ROSSATO, H.; STADLER, S. Soil compaction produced by tractor with radial and cross-ply tyres. **Soil and Tillage Research**, v. 101, p. 44-51, 2008.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 10, 2009.

CARVALHO, L.A.; SILVA, C.A.S.; NUNES, W.A.G.A.; MEURER, I.; SOUZA, W.S. Produtividade e viabilidade econômica da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo no centro-oeste do Brasil. **Revista de Ciência Agrárias**, n.2, v.8, p. 54-62. 2011.

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. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p.765-771, 2006.

CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES,M.C.; SOUZA,Z.M.; PEREIRA,G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e

preparos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.237-243, 2011.

CAMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.5, p.789-796, 2005.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M .A .S. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada), 2010. 77p.

CAMARGO, L.A.; MARQUES,J.J.; PEREIRA,G.T. Spatial variability of physical attributes of an alfisol under different hillslope curvatures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.1, p.617-630, 2011.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação**, Viçosa: UFV. 1999. 359p.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; FREDDI, O.S.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob sistema de semeadura direta. **Bragantia**, v.70, n.4, p.908-916, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

GOLDEN SOFTWARE.Surfer 8.0. [S.l.]: Golden Software, 2005.

GREGO, C.R. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas de solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p.169-177, 2005.

FREDDI, O.S, CENTURION, F. F., DUARTE, A. P., PERES, F.S.C. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p.805-811, 2009.

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. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p.113-121, 2006.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, p. 12, 2010.

KLEIN, V.A.; VIEIRA,M.L.; DURIGON, F.F.; MASSING, J.P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, v.38, n.2,p.365-371,2008.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1979. 264 p.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n.2, p.361 -369, 2007.

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 Cascavél, PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2, p.212-219, 2004.

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

LIMA, C.L.R.; PILLON,C.N.; SILVA, S.D.A.; KUNDE,R.J. Physical indicator of soil quality of alfisol under conventional system of physic nut. **Bioscience Journal**, v.28,n.1, p.203-211.2012.

MARTINS, M. V.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul, **Acta Scientiarum Agronomic**, v.31, p.147-154, 2009.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MULLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: Alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, n.35, v.2, p.120-124, 2011.

McBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **J.SoilSci.**, v. 37, p. 617-639, 1986.

MEGDA, M. M.; CARVALHO, M. P.; VIEIRA, M. X.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, E. C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de feijão e a porosidade de um latossolo vermelho de Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.781-788, 2008.

MENEZES, J.A.N. **Seleção recorrente no melhoramento de feijão vermelho**. 83f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento do Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2011.

MONTANARI, R.; CARVALHO, M.P.; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVON, F.C.; LOVERA, L.H.; HONORATO, M.A.O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, n.34, v.3, p.181-192, 2010.

MONTANARI, R.; CARVALHO, M.P.E.; SIQUEIRA, G.M.; DAFONTE, J.D.; CONZÁLEZ, A.P. Correlação linear e espacial entre a produtividade de feijão e de atributos físicos de um latossolo vermelho. **BioEng**, v.3, n2, p.169-179, 2009.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. (FAO). Disponível em: <<http://www.fao.org>> Acesso em: 08 agosto de 2013.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações pra uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq, 2002. 309p

REIS, L.R.; VIEIRA, L.B.; MANTOVANI, E.C.; QUEIROZ, D.M.; SANTOS, N.T. Estudo da correlação da condutividade elétrica em um latossolo amarelo escuro com propriedades químicas do solo. **Engenharia na Agricultura**, n.2, v.17, p.227-232, 2009.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & tillage research**, v.102, p.242-254, 2009.

ROBERTSON, G. P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences**: GS+ user's guide. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.

ROQUE, M.W.; MATSURA, E.E.; SOUZA, Z.M.; BIZARI, D.R. & SOUZA, A.L. Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a

produtividade do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1827-1835, 2008.

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

SANTOS, P. A.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; KITAMURA, A. E.; FREITAG, E. E.; VANZELA, L. S. Correlação linear e espacial entre o rendimento de grãos do feijoeiro e a resistência mecânica a penetração em um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.287-295, 2005.

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide**: statistics, version 9.2. Cary, 2002

SCHAFFRATH, V.R.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J; GONÇALVES, A.C.A. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.3, p. 169 – 177, 2008.

SOUZA, C. M. A.; BOTTEGA, E. L.; VILELA, F. V.; RAFULL, L. Z. L.; QUEIROZ, D. M. Espacialização de perdas e da qualidade do feijão em colheita semimecanizada. **Acta Scientiarum Agronomy**, n.2, v.32, p.201-208, 2010.

SOUZA, Z. M.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, I. H. L.; MARQUES, J.; CESARN, 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**, v.36, p.128-134, 2006.

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

SOUZA, Z. M.; MARQUE JÚNIOR, J. & PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.937-944, 2004.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 407-414, 2005.

SEPASKHAH, A.R.; AHMADI, S.H. & NIKBAKHT SHAHBAZI, A.R. Geostatistical analysis of sortivity for a soil under tilled and no-tilled conditions. **Soil Till. Res.**, v.83, p.237-245, 2009.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, 34:755-760, 2004.

TAVARES FILHO, J. & TESSIER, D. Characterization of soil structure and porosity under long-term conventional tillage and no-tillage systems. **R. Bras. Ci. Solo**, 33:1837-1844, 2009.

VALENTE, D.S.M.; QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; SANTOS, N.T.; SANTOS, F.L. Definition of management zones in coffee production fields based on apparent soil electrical conductivity. **Scientia Agrícola**, v.69, p.173-179, 2012.

VITÓRIA, E.L. ; FERNANDES, H. C. ; TEIXEIRA, M. M. ; CECON, P. R. ; LACERDA, E. G. . Correlação linear e espacial entre produtividade de brachiaria brizantha, densidade do solo e porosidade total em função do sistema de preparo do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p.