

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

MAPAS DE ISOCOMPACTAÇÃO E ISOFERTILIDADE DO SOLO EM

DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

EDMILSON RENATO SILVA RUIZ

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção
do título de Doutor em Agronomia –
Área de Concentração em Energia na
Agricultura

BOTUCATU – SP

Agosto – 2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

**MAPAS DE ISOCOMPACTAÇÃO E ISOFERTILIDADE DO SOLO EM
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

EDMILSON RENATO SILVA RUIZ

Orientador: PROF. DR. KLÉBER PEREIRA LANÇAS

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção
do título de Doutor em Agronomia –
Área de Concentração em Energia na
Agricultura

BOTUCATU – SP

Agosto - 2003

DEDICO

Aos meus pais, João Ruiz Martinez Filho (in Memoriam)
e Neuza Maria da Silva Ruiz, pelo esforço, almejando
um futuro brilhante a seus filhos.

Ao meu irmão, Emerson Roberto Silva Ruiz pela
amizade e convívio familiar.

À Márcia Cristina Ricci Ruiz, pelo amor, carinho,
compreensão, incentivo e por tudo que aprendi para
superar todas as dificuldades encontradas nesta vida.

À minha querida filha Fernanda Ruiz, que mostrou-me
o sentido e a felicidade de uma vida, **OFEREÇO**.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, pela saúde, pela minha família, pelos verdadeiros amigos e por todas as coisas que sempre me concedeu.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu pela oportunidade de realização do Curso de Pós-Graduação.

Ao Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças, pela orientação e acima de tudo pela amizade, confiança, respeito e pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pela concessão de bolsa de estudos.

À Professora Célia Regina Lopes Zimback pelas sugestões e orientação na execução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. José Paulo Molin, pela amizade e orientação na realização deste trabalho.

Aos Professores Ulisses Rocha Antuniassi e Antonio José da Silva Maciel pelas sugestões e orientação na execução desta Tese.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Rural, pelos ensinamentos e cordialidade.

As funcionárias da seção de Pós-Graduação: Marilena do Carmo Santos, Marlene Rezende e Jaqueline de Moura Gonçalves pela paciência, atenção e eficiência no atendimento prestado.

Ao amigo Dr. Dumas V. Casagrandi, pela ajuda e contribuição em mais esta etapa da vida.

Aos grandes amigos Moizéis Silva Nery e Maurício Javier De Leon, pela amizade incondicional, apoio, companheirismo, ajuda e por todos os momentos que passamos nesta etapa da vida.

Aos amigos Alexandre Tachibana, Caetano Henrique Grossi, Carolina Queiroz, Elka Élice, Fábio Henrique Rojo Baio, Flávio Mazzetto, Francisco Faggion, Marco Ripoli, Renato Lara de Assis, Reginaldo Barboza da Silva, Reginaldo Teodoro de Souza, Renildo Luiz Mion, Wellington Pereira Alencar de Carvalho pela amizade, companheirismo e por tornar o ambiente de trabalho mais agradável.

A Dr^a. Adriana M. M. Pires e ao Dr. Fábio Prata, pela amizade, companheirismo, incentivo e ajuda na realização deste trabalho.

Aos grandes amigos Juan Jose Bonnin Acosta e Glória Bonnin, pela amizade incondicional.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE QUADROS.....	XI
1. RESUMO.....	1
2. SUMMARY.....	3
3. INTRODUÇÃO.....	5
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
4.1. Variabilidade espacial das características do solo.....	7
4.2. Agricultura de Precisão.....	10
4.3. Sistema de Plantio Direto e Convencional.....	14
4.4. Propriedades Físicas do Solo.....	16
4.5. Propriedades Químicas do Solo.....	33
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
7. CONCLUSÃO.....	125
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127
9. ANEXO.....	148

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Vista do penetrômetro hidráulico eletrônico.....	47
2. Vista do penetrômetro hidráulico eletrônico equipado com sistema DGPS e suas aplicações à campo.....	48
3. Vista de barra de luz e sensor de rotação.....	49
4. Utilização da barra de luz e sensor de rotação e suas aplicações em campo.....	50
5. Semivariogramas de índice de cone na área de plantio convencional 1 em diferentes profundidades.....	149
6. Semivariogramas de índice de cone na área de plantio convencional 2 em diferentes profundidades.....	150
7. Semivariogramas de índice de cone na área de plantio direto 1 em diferentes profundidades.....	151
8. Semivariogramas de índice de cone na área de plantio direto 2 em diferentes profundidades.....	152
9. Semivariogramas dos teores de água no solo nos diferentes tipos de manejo e em diferentes profundidades.....	153
10. Semivariogramas de densidade do solo nos diferentes tipos de manejo e em diferentes profundidades.....	154
11. Semivariogramas de pH do solo nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm.....	155

12. Semivariogramas de matéria orgânica do solo nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm.....	156
13. Semivariogramas de fósforo do solo nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm.....	157
14. Semivariogramas de potássio do solo nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm.....	158
15. Semivariogramas de cálcio do solo nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm.....	159
16. Semivariogramas de magnésio do solo nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm.....	160
17. Semivariogramas da porcentagem de areia do solo nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm.....	161
18. Semivariogramas da porcentagem de argila do solo nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm.....	162
19. Mapas de isocompactação do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-10cm.....	84
20. Mapas de isocompactação do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 10-20cm.....	86
21. Mapas de isocompactação do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-30cm.....	88
22. Mapas de isocompactação do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 30-40cm.....	89
23. Mapas de isocompactação do solo nos diferentes tipos de manejo na	

profundidade maior que 40cm.....	91
24. Mapas de isoumidade do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-10 cm.....	92
25. Mapas de isoumidade do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 10-20 cm.....	94
26. Mapas de isoumidade do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-30 cm.....	95
27. Mapas de isodensidade do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-10 cm.....	96
28. Mapas de isodensidade do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 10-20 cm.....	97
29. Mapas de isodensidade do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-30 cm.....	98
30. Mapas de isofertilidade do solo (pH) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-20 cm.....	100
31. Mapas de isofertilidade do solo (pH) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-40 cm.....	101
32. Mapas de isofertilidade do solo (Matéria Orgânica) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-20 cm.....	103
33. Mapas de isofertilidade do solo (Matéria Orgânica) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-40 cm.....	104
34. Mapas de isofertilidade do solo (Fósforo) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-20 cm.....	105

35. Mapas de isofertilidade do solo (Fósforo) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-40 cm.....	106
36. Mapas de isofertilidade do solo (Potássio) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-20 cm.....	108
37. Mapas de isofertilidade do solo (Potássio) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-40 cm.....	109
38. Mapas de isofertilidade do solo (Cálcio) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-20 cm.....	110
39. Mapas de isofertilidade do solo (Cálcio) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-40 cm.....	111
40. Mapas de isofertilidade do solo (Magnésio) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-20 cm.....	112
41. Mapas de isofertilidade do solo (Magnésio) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-40 cm.....	113
42. Mapas de isogranulometria do solo (Areia) nos diferentes tipos de manejo nas profundidades de 0-20cm e 20-40 cm.....	115
43. Mapas de isogranulometria do solo (Argila) nos diferentes tipos de manejo nas profundidades de 0-20cm e 20-40 cm.....	116
44. Mapas de aplicação de taxa variável de calcário nos diferentes tipos de manejo nas profundidades de 0-20cm e 20-40 cm.....	120
45. Mapas de aplicação de taxa variável de fósforo nos diferentes tipos de manejo nas profundidades de 0-20cm e 20-40 cm.....	121
46. Mapas de aplicação de taxa variável de potássio nos diferentes tipos de	

manejo nas profundidades de 0-20cm e 20-40 cm.....	122
--	-----

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1. Histórico das áreas e época de amostragem do solo.....	50
2. Histórico das áreas com as culturas implantadas.....	52
3. Classificação de cores dos atributos físicos do solo.....	56
4. Classificação de cores dos atributos químicos do solo.....	57
5. Classificação de cores dos atributos químicos do solo em função da aplicação em taxa variável nas duas faixas de profundidades.....	58
6. Recomendações de adubação para o Estado de São Paulo.....	58
7. Resultado da análise de estatística descritiva dos parâmetros físicos do solo na área de plantio convencional 1.....	60
8. Resultado da análise de estatística descritiva dos parâmetros químicos do solo na área de plantio convencional 1.....	61
9. Resultado da análise de estatística descritiva dos parâmetros físicos do solo na área de plantio convencional 2.....	62
10. Resultado da análise de estatística descritiva dos parâmetros químicos do solo na área de plantio convencional 2.....	63
11. Resultado da análise de estatística descritiva dos parâmetros físicos do solo na área de plantio direto 1.....	64
12. Resultado da análise de estatística descritiva dos parâmetros químicos do solo na área de plantio direto 1.....	65
13. Resultado da análise de estatística descritiva dos parâmetros físicos do solo	

na área de plantio direto 2.....	66
14. Resultado da análise de estatística descritiva dos parâmetros químicos do solo na área de plantio direto 2.....	67
15. Resultados das análises geoestatísticas dos atributos físicos do solo para a área de plantio convencional 1.....	68
16. Resultados das análises geoestatísticas dos atributos químicos do solo para a área de plantio convencional 1.....	69
17. Resultados das análises geoestatísticas dos atributos físicos do solo para a área de plantio convencional 2.....	70
18. Resultados das análises geoestatísticas dos atributos químicos do solo para a área de plantio convencional 2.....	71
19. Resultados das análises geoestatísticas dos atributos físicos do solo para a área de plantio direto 1.....	72
20. Resultados das análises geoestatísticas dos atributos químicos do solo para a área de plantio direto1.....	73
21. Resultados das análises geoestatísticas dos atributos físicos do solo para a área de plantio direto 2.....	74
22. Resultados das análises geoestatísticas dos atributos químicos do solo para a área de plantio direto2.....	75
23. Análise de variância dos atributos químicos do solo ao nível de 5% de probabilidade.....	79
24. Análise de variância da textura do solo ao nível de 5% de probabilidade.....	79
25. Análise de variância dos atributos físicos do solo ao nível de 5% de	

probabilidade.....	80
26. Teste de Tukey dos atributos químicos de solo, ao nível de 5% de probabilidade.....	81
27. Teste de Tukey dos atributos textural do solo, ao nível de 5% de probabilidade.....	82
28. Teste de Tukey dos atributos físicos do solo, ao nível de 5% de probabilidade.	83

1 RESUMO

Os atributos físicos e químicos de um solo não são os mesmos ao longo de uma área agrícola, podendo esta ser dividida em subáreas com diferentes níveis desses atributos gerando diferentes práticas de recuperação. Sob este aspecto, as técnicas utilizadas pela agricultura de precisão podem ser bastante úteis na localização, recuperação e monitoramento de áreas agrícolas com problemas nos seus atributos. Mapas de isocompactação, isodensidade, isoumidade, isotextura e também mapas de isofertilidade, podem ser elaborados com o auxílio do DGPS (Sistema de Posicionamento Global Diferenciado) onde a situação real do campo pode ser descrita e particularizada.

Este estudo teve como objetivo utilizar técnicas de agricultura de precisão, obtendo-se informações práticas e confiáveis de mapas de isocompactação isodensidade, isoumidade, isotextura e isofertilidade em 2 áreas sob plantio convencional e 2 áreas sob plantio direto. Os ensaios foram realizados no Campus Experimental da Fazenda Lageado – FCA/UNESP – Botucatu, SP. A amostragem do solo nas áreas em estudo, foi realizada através de uma malha regular (grade) de aproximadamente 35 X 35m para posterior

geração dos mapas de isocompactação e de 50 X 50m para posterior geração dos mapas de isoumidade, isodensidade, isotextura e isofertilidade do solo. Para a determinação da resistência mecânica à penetração do solo, foi utilizado um penetrômetro hidráulico-eletrônico. Ao mesmo tempo, foram retiradas as amostras de solo, analisadas posteriormente em laboratório, determinando assim, a densidade e o teor de água do solo, além da determinação da fertilidade em faixas de profundidades de 0-20 e 20-40 cm. A análise dos dados foram realizadas através da aplicação da geoestatística e foram gerados mapas de isocompactação, isoumidade, isodensidade, isotextura e isofertilidade.

Através dos resultados obtidos pôde-se concluir que os maiores valores de índice de cone (kPa) foram obtidos no sistema de plantio direto, visto que, as áreas estudadas no plantio convencional foram manejadas na profundidade de 0-30cm para a implantação da cultura da soja (*Glycine Max (L.) Merrill*). Além disso, o sistema de plantio direto apresentou os maiores teores de água e de densidade nas profundidades estudadas.

Para os atributos químicos do solo (pH, M.O, P, K, Ca e Mg) os maiores teores dos macroelementos, para as duas faixas de profundidades estudadas, foram obtidos no sistema de plantio direto quando comparados ao sistema convencional.

Os mapas gerados de isocompactação, isoumidade, isodensidade, isotextura e isofertilidade do solo pela técnica da krigagem, mostraram-se adequados, possibilitando a visualização dos mapas de isolinhas com precisão e fidelidade dos dados originais.

SOIL ISOCOMPACTION AND ISOFERTILITY MAPS IN DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS. Botucatu, 2003. 163p. Thesis (Doctorate in Agronomy / Energy in Agriculture, Universidade Estadual Paulista – UNESP).

AUTHOR: Edmilson Renato Silva Ruiz

ADVISOR: Prof. Dr. Kleber Pereira Lanças

2 SUMMARY

Soil physical and chemical attributes are not the same inside a farm area; it could be divided in plots with different attributes degrees that require different recovery practices. From this aspect precision agriculture techniques can be very useful for locating, recovering and monitoring areas with physical and chemical soil problems. Isocompaction, isodensity, isohumidy, isotexture and isofertility maps can be made with the use of DGPS (Differential Global Positioning System) where the real field situation can be defined.

This study had the objective to evaluate the precision farming techniques, obtaining practical and reliable information on isocompaction, isodensity, isohumidy, isotexture and isofertility maps in two different conventional tillage areas and two different no tillage areas. The essays were carried out in Campus Experimental of Lageado Farm at FCA/UNESP, in the city of Botucatu, SP. The soil samples of the studied area were made with a regular grid of approximately 35x35m aiming isocompaction map generation and 50x50m for isohumidity, isodensity, isotexture and isofertility of the soil, to determinate the soil penetration mechanical resistance it was used a hydrolic-eletronic penetrometer. At the

same time, soil samples were taken, to be analyzed later in laboratory to determinate the soil density and its moisture content, and also was determinate the fertility on 0-20cm a 20-40cm layers depths. The data analyzed were gotten by using geoestatistical application and as a final product; isocompaction, isohumidity, isodensity, isotexture and isofertility maps were made.

Through the obtained results it can be concluded that the highest cone index (kPa) results were found in the no tillage system, since the studied areas in conventional system were managed in a 0-30cm depth to plant soybean (*Glycine Max* (L.) Merrill). Beyond that, the no tillage system presented the highest moisture content and density on the studied depths.

For the soil chemical attributes (pH, organic matter, P, K, Ca and Mg) it was obtained in the no tillage system the higher macro elements values in both studied layers depths when compared to the conventional tillage system.

The generated maps of isocompaction, isohumidity, isodensity, isotexture and isofertility of the soil using the krigging technique showed to be adequate, allowing the isolines maps visualization with great precision and fidelity from original data.

3 INTRODUÇÃO

Devido ao uso indiscriminado de práticas de manejo do solo, sérios problemas vêm se desencadeando na agricultura brasileira. As operações agrícolas exigem uma intensa mobilização do solo, o que resulta, muitas vezes, na sua compactação e, conseqüentemente, reflete negativamente na sua produtividade.

A compactação reduz a permeabilidade do solo tanto em relação ao ar, como para a água, além de dificultar o crescimento e a penetração das raízes. Com isso, o solo apresenta menor disponibilidade de água e nutrientes, além de induzir um crescimento mais concentrado do sistema radicular próximo da superfície do solo. Nas culturas anuais, o número de operações de preparo do solo é maior, o que resulta numa compactação ainda mais severa.

A comunidade científica, juntamente com agricultores, vem procurando novos sistemas de manejo que amenizem os problemas causados pelo chamado sistema convencional de cultivo. Uma delas é conhecida como plantio direto e consiste, na semeadura direta sem uma mobilização total do solo.

O solo agrícola não apresenta uma compactação homogênea dentro de uma área, podendo esta ser dividida em subáreas com diferentes graus de compactação, que poderiam ser tratadas com diferentes práticas de recuperação. Sob este aspecto, as técnicas utilizadas pela agricultura de precisão podem ser bastante úteis na localização, identificação, recuperação e monitoramento das áreas com problemas de compactação. Mapas de isocompactação, e também mapas de isofertilidade podem ser elaborados com o auxílio de sensores e do DGPS (Sistema de Posicionamento Global Diferenciado) onde a situação real do campo pode ser georreferenciada.

Esta pesquisa tem como objetivo geral analisar dois sistemas de manejo do solo, plantio direto e plantio convencional, distribuídos em quatro áreas agrícolas e gerenciadas através da agricultura de precisão.

Os objetivos específicos foram:

- Desenvolver mapas de isocompactação e isofertilidade do solo nos diferentes sistemas de manejo (plantio direto e plantio convencional).
- Comparar os mapas, obtendo informações dos sistemas de manejo.
- Avaliar a utilização da agricultura de precisão no estudo da compactação e da fertilidade do solo.
- Criar mapas de aplicação localizada de insumos agrícolas em função dos mapas gerados de atributos do solo.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Variabilidade espacial das características do solo

A variabilidade espacial do solo pode ser definida como a variação que o solo apresenta em suas características, tanto superficialmente quanto em profundidade. A variabilidade local das características do solo pode resultar de causas naturais ou do manejo pelo homem.

Para Marques Jr & Corá (1998) conhecer a variabilidade espacial de propriedades do solo que controlam a produtividade de culturas é um fator indispensável na implantação da agricultura de precisão.

O geoprocessamento é um importante conjunto de tecnologias que permite analisar grandes quantidades de dados georeferenciados. Além disso, permite o tratamento desses dados gerando informações através de modelagem e simulação de cenários (ROCHA & LAMPARELLI, 1998).

Com o emprego da interpolação de dados, da evolução da ciência da

computação e dos sistemas de informação geográfica, não há mais necessidade de agrupamento de dados exclusivamente em polígonos, podendo ser elaborados automaticamente mapas de isolinhas (MCBRATNEY & DE GRUIJTER, 1992, BURROUGH ET. AL., 1997 E MCBRATNEY & ODEH, 1997).

A geoestatística tem-se mostrado de grande utilidade na ciência do solo tendo como objetivo caracterizar e mapear a variação espacial das propriedades do solo. As ferramentas da geoestatística permitem a análise de dependência espacial, como também, a estimativa de dados, para locais não amostrados, através de um estimador com menor tendenciosidade. Com a utilização dessas ferramentas podem-se analisar adequadamente dados de experimentos, com a possibilidade de se obter informações não perceptíveis na análise da estatística clássica e efetuar análise do efeito da qualidade do solo no rendimento das culturas (VIEIRA, 2000).

O semivariograma é um medidor do grau de semelhança entre vizinhos. Com ele pode-se utilizar a autocorrelação para interpolar valores para os locais não medidos e, assim, construir mapas de isolinhas, ou tridimensionais, com boa precisão no estudo da variabilidade de um parâmetro. O exame de semivariogramas para as variáveis medidas, poderá revelar fatores importantes na maneira como os dados variam no espaço e, conseqüentemente, o efeito do uso do solo e as alterações promovidas no meio onde as plantas crescem. Uma vez que as medições foram realizadas para permitir a análise geoestatística, então se pode calcular os semivariogramas para a verificação da existência, ou não, de autocorrelação espacial, e para a posterior construção de mapas para a área amostrada, em cada uma das profundidades, bem como, outros parâmetros (VIEIRA et al., 2000a).

O semivariograma deve ser conhecido para permitir a definição da intensidade de amostragem ideal. Caso não seja conhecido, recomenda-se uma amostragem sistemática em malha regular, com igual intervalo entre as amostras e determinado pelo número de observações que o interessado tenha condições de executar. No entanto, o conhecimento do alcance da dependência espacial permitirá a definição desse intervalo, que deverá ser de, no mínimo, duas vezes o alcance, garantindo, com isso, a independência entre os pontos amostrais e atingindo, ao mesmo tempo, a minimização do erro-padrão da média e do esforço de amostragem e a maximização da sua representatividade (SOUZA et al., 1997).

O alcance da dependência espacial representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, os pontos localizados numa mesma área de raio igual ao alcance são mais homogêneos entre si do que com aqueles localizados fora dessa área.

Outro parâmetro importante do semivariograma é o efeito pepita, pois indica a variabilidade não explicada, que pode ser devida a erros de medidas ou microvariação não detectada, considerando a distância de amostragem utilizada. Esse parâmetro pode ser expresso como sendo uma porcentagem do patamar, já que é impossível quantificar a contribuição individual dos erros de medições ou da variabilidade (CAMBARDELLA et al., 1994).

Estes mesmos autores classificam o grau de dependência espacial de um atributo, em função da relação entre o efeito pepita e o patamar. Segundo esses autores, semivariogramas que apresentam efeito pepita menor ou igual a 25 % do patamar tem forte dependência espacial. A dependência espacial será moderada, quando essa relação variar de 25 a 75 %, e fraca, quando o efeito pepita for superior a 75 % do patamar.

A semivariância assume um papel importante na interpolação dos valores, através da técnica da krigagem, possibilitando a construção de mapas de contornos (isolinhas) com maior precisão (VIEIRA et al., 1983).

A krigagem é o método mais estudado devido sua complexidade. Além disso, apresenta, entre outras vantagens, maior precisão geral e fidelidade aos dados originais, de acordo com LANDIN (2000) e VIEIRA (2000).

Schimandei & Weirich Neto (2001) estudaram a variabilidade espacial de argila e silte conforme diferentes métodos de interpolação. Os autores explicaram que para argila, o método de menor erro foi mínima curvatura, enquanto que para silte, foi o método de Shepard. A krigagem apresentou o segundo maior erro médio para os dados de argila, sendo que foi o segundo melhor método no caso de silte.

O ajuste de um modelo teórico ao variograma experimental é um passo importante na análise e deve ser feita de maneira criteriosa. Os modelos podem ser descritos como: modelo transitivo, esférico, exponencial e gaussiano.

Várias pesquisas indicaram o modelo esférico como adequado para descrever o comportamento de semivariogramas de atributos de solo e de plantas (SOUZA et al., 1996 e SALVIANO et al., 1998).

4.2 Agricultura de Precisão

A agricultura de precisão é um método de administração cuidadosa e detalhada do solo e da cultura para adequar as diferentes condições encontradas em cada pedaço da lavoura, tendo em vista a desuniformidade intrínseca dos solos (SCHULLER,

1992). Para Mantovani et al. (1998), a agricultura de precisão constitui numa ferramenta de grande potencialidade, que poderá proporcionar ao agricultor o mapeamento do solo, a aplicação de insumos e as atividades de colheita, considerando a área de modo diferenciado, a fim de racionalizar o uso de insumos e o consumo de energia. Molin (1997) define a agricultura de precisão como uma filosofia de trabalho que vem sendo adotada por vários agricultores em vários países, acrescentando ainda que esta técnica só foi possível com a utilização do GPS (Sistema de Posicionamento Global).

O GPS foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, sendo um sistema que georreferencia o usuário para sua perfeita localização na superfície da terra (MOLIN, 1998).

Na agricultura o GPS vem permitindo a utilização de novos conceitos e práticas que deram origem à chamada agricultura de precisão.

Atualmente, a utilização cada vez maior desta tecnologia, supre as mais diversas áreas (mapeamento, geodésia, Agricultura de Precisão, coleta de dados para sistemas de informação geográfica, construção civil, controle de frota, gera uma demanda muito grande aos fabricantes, os quais, por sua vez, exercem cada vez mais pressão no Departamento de Defesa dos Estados Unidos – o responsável pelo programa, para criar mecanismos que possibilitem aumentar as vantagens para os usuários civis. As pressões já fizeram efeito na medida em que o governo americano extinguiu a Disponibilidade Seletiva (Selective Availability – AS), diminuindo o erro até 10 vezes, sendo esta a maior fonte de erro capaz de reduzir a acurácia dos cálculos de posicionamento dos receptores de GPS. No entanto, essa precisão só é possível com o uso de DGPS (MOLIN, 1998). O DGPS ou GPS diferencial é um método largamente utilizado na correção de erros, acrescentando ao sistema

um sinal adicional de um ponto referencial de uma base fixa. Stafford (1996) explica que os erros de posicionamento dos receptores terrestres incluem o erro de retardo de sinal causados pela ionosfera e troposfera, o erro do relógio do satélite, efeméride, órbita e ruído dos receptores. A correção destes erros ou DGPS podem ser em tempo real ou em pós processamento.

Para Balastreire et al. (2000), o DGPS é uma ferramenta importante do sistema e o conhecimento de suas limitações, assim como de suas potencialidades, é de extrema importância para uma melhor utilização do potencial da agricultura de precisão. Esses autores determinaram a acurácia de um DGPS, modelo AgNavigator, fabricado pela Ashtech operando em condições dinâmicas de campo com as velocidades de 4, 6, 8, 10 e 12 km h⁻¹ e concluíram que nas menores velocidades utilizando o GPS, o erro planimétrico das coordenadas tende a ser menor, melhorando a acurácia das operações realizadas em condições cinemáticas. Concluíram ainda, que o erro altimétrico tende a permanecer constante, com o aumento da velocidade.

A decisão sobre a melhor alternativa de gerenciamento localizado da cultura poderá ser tomada pela utilização de softwares específicos de Sistemas de Informações Geográficas – (SIG), desenvolvidos especialmente para agricultura. Estes fornecem como produto final um mapa de aplicação localizada de insumos, o qual é utilizado na aplicação automática da quantidade variável de insumo requerida para aquele local (BALASTREIRE, 1998b).

A barra de luz é um sistema que utiliza o GPS e foi desenvolvida para servir como guia para o operador em aplicações de produtos em faixas. Foi originalmente concebida em aplicações aéreas, visando eliminar a necessidade de sinalizadores ou de

bandeirinhas. Porém, já esta sendo proposta para substituir o uso de marcadores de espuma, ou mesmo discos marcadores, em operações como a aplicação de defensivos, de fertilizantes e de corretivos a lanço e como a semeadura, especialmente em plantio direto. Consiste em uma barra com sinais luminosos, posicionado na frete do operador, e que orienta a manter uma dada direção (MOLIN, 1997).

Fekete (1997) analisando o erro de localização usando DGPS, observou através de testes, que o DGPS pode ser usado para medir a velocidade de deslocamento com o erro máximo de $0,1 \text{ m s}^{-1}$. Além disso, utilizando velocidades de deslocamento que variam de $3,6$ a 19 km h^{-1} , observou um desvio lateral de $0,58\text{m}$ em percursos em linha reta de 400m .

A obtenção de amostras georreferenciadas em um levantamento de solos, utilizando-se um sistema DGPS e armazenamento dessas informações em um Sistema de Informação Geográfica – GIS, possibilita gerar mapas de fertilidade dos solos, o qual permitirá estabelecer estratégias de aplicação de fertilizantes e a combinação dessas informações para se gerenciar de forma localizada toda uma propriedade (BALASTREIRE, 1998a; SARAIVA & CUGNASCA, 1998).

Um exemplo dessa tecnologia é o trabalho de Lanças & Santos (1998), que construíram um penetrômetro hidráulico-eletrônico com sistema DGPS que possibilitou a amostragem georreferenciada da resistência do solo à penetração.

4.3 Sistemas de Plantio Direto e Convencional

O sistema de plantio direto apresenta algumas características que o diferenciam dos demais tipos de preparo de solo. No sistema de plantio direto, o revolvimento do solo reduz-se à abertura do sulco de semeadura, enquanto que no cultivo convencional existe a movimentação total de uma camada mais profunda (20 a 30 cm), chamada aração, e mais duas movimentações da camada já revolvida, utilizando grades niveladoras.

O uso do sistema de plantio direto pode ser extremamente importante para o estabelecimento das culturas, pois proporciona menores valores de temperatura do solo na amplitude diária, além de manter maior volume e disponibilidade de água em comparação ao sistema convencional.

O melhor aproveitamento dos adubos pela planta é fato já constatado em regiões do país onde o sistema de plantio direto é utilizado há mais tempo, provavelmente devido ao maior acúmulo de matéria orgânica, elevada concentração de nutrientes na camada superficial do solo (Sá, 1993), aliados a teores de água relativamente superiores aos do plantio convencional. Nesse ambiente, a redução do uso de adubos pode ser significativa.

O sistema de plantio direto pressupõe a existência de adequada quantidade de palha ou restos culturais sobre a superfície do solo. Essa cobertura protege o solo contra o impacto das gotas de chuva, impedindo sua degradação e a formação de camadas compactadas que não deixam a água infiltrar (PEREIRA, 1997).

O solo cultivado no sistema de plantio direto apresenta uma economia de água bastante diferenciada daqueles sob preparo convencional. O preparo convencional pulveriza o solo, reduzindo o tamanho dos agregados e a capacidade de retenção de água. No

plantio direto o solo apresenta melhor estrutura. A maior capacidade de retenção de água, aliada à menor perda de água por erosão e evaporação, faz com que o sistema de plantio direto apresente mais água disponível às plantas em relação ao sistema convencional (CASTRO, 1989).

Moraes & Benez (1996) avaliando o efeito de cinco sistemas de preparo de solo (subsolagem e enxada rotativa – SER, enxada rotativa – ER, aração e gradagem – AG, aração e semeadura – AS, plantio direto – PD) nas propriedades físicas do solo e na produção de milho (*Zea mays L.*), observaram que os sistemas de preparo SER, AG e ER mostraram, após sua aplicação, maior resistência à penetração do solo, a 15 cm de profundidade, em relação ao PD e AS.

Em termos de produtividade, Centurion & Demattê (1985) estudando diferentes sistemas de preparo do solo, observaram que o sistema de plantio direto apresentou melhores resultados quando comparado com o sistema convencional. Já, Trein et al. (1991) e Zaffaroni et al. (1991) obtiveram resultados opostos, visto que, nas suas pesquisas o sistema de plantio convencional apresentou maior produção.

Dentro do plantio direto as perdas de nutrientes tendem a ser menores do que no plantio convencional devido à mobilização reduzida do solo. Este tipo de sistema reduz perdas de nutrientes por lixiviação e também por erosão.

A erosão, genericamente, tem como ponto de partida a ação das gotas de chuva, que, ao caírem no solo, dependendo de sua energia cinética, provocam diferentes impactos e degradações. Para Pruski et al. (1999), as perdas de solo por erosão tendem a elevar os custos de produção, aumentando a necessidade do uso de corretivos e fertilizantes e reduzindo o rendimento operacional das máquinas agrícolas.

Para Schick et al. (2000 a), os preparos conservacionistas diminuem a erosão hídrica em relação aos preparos convencionais, por meio da cobertura e maior rugosidade superficial do solo. Esses autores quantificaram as perdas de solo e de água sob chuva natural, nos seguintes sistemas de preparo: aração + duas gradagens, escarificação + gradagem e semeadura direta. Como resultado, verificaram que a semeadura direta na média da rotação e sucessão de culturas, reduziu as perdas de solo em 52, 68 e 98 % em relação à escarificação + gradagem, aração + gradagem e aração + duas gradagens no solo, respectivamente. Além disso, o sistema de cultivo influenciou mais fortemente as perdas de solo quando o preparo do solo utilizado foi aração + duas gradagens. As perdas de água do solo comportaram-se de maneira semelhante às perdas de solo.

Outro problema relacionado à erosão hídrica, além da perda de solo e água segundo Schick et al. (2000 b), é o empobrecimento dos solos por causa do transporte de nutrientes. Os nutrientes são transportados pela erosão hídrica adsorvidos aos colóides do solo e, ou, solubilizados, sendo função do sistema de preparo do solo utilizado.

4.4 Propriedades Físicas do solo

A compactação do solo consiste na alteração de sua estrutura, geralmente causada por tráfego de máquinas e implementos agrícolas ou pela degradação causada pelas operações de preparo e de cultivo.

As práticas de manejo convencionais, em que se tem uma intensa mecanização, acentuam os problemas de compactação do solo, ficando este efeito mais evidente nas culturas anuais devido à intensiva mobilização do solo durante as operações de

preparo (Silva et al. 1986).

Tormena et al. (1998) explicam que no sistema de plantio direto o tráfego de máquinas e a ausência de revolvimento do solo, promovem a compactação do solo em superfície. Por outro lado, Maria et. al., (1999) explicam que, a presença de camadas compactadas subsuperficiais no solo, podem causar restrição ao crescimento radicular e, conseqüentemente, reduzir a produção. Neste caso, Mello Ivo & Mielniczuk (1999) explicam que o estudo da distribuição de raízes no solo é um método adequado para se detectar as condições adversas ou não ao seu desenvolvimento, bem como avaliar o efeito das alterações introduzidas pelos sistemas de preparo do solo.

Com a compactação tem-se normalmente, uma menor produtividade agrícola, uma vez que esta proporciona condições desfavoráveis ao crescimento das plantas (NOVAK et al. 1992 e PEDROTTI et al. 1998). De acordo com Ortolani et al. (1982) e Negi et al. (1990), o desempenho de uma cultura é influenciado pelas condições físicas e químicas do solo.

A camada compactada dificulta a penetração das raízes e a permeabilidade de ar e de água (LANÇAS et al., 1990). Com isso o sistema radicular se concentra na camada superficial do solo, diminuindo a área de contato solo-raiz, o que resulta em menor disponibilidade de nutrientes.

Avaliando o efeito de métodos de preparo de solo sobre determinadas características do solo, Mello Ivo & Mielniczuk (1999) desenvolveram um experimento de campo sobre um solo Podzólico Vermelho-escuro com cinco anos de utilização e três tipos de condução: preparo convencional, reduzido e semeadura direta, na sucessão aveia + trevo/milho. A partir disso, concluíram que as plantas submetidas à semeadura direta, quando

comparadas às do preparo convencional, tiveram o crescimento inicial das raízes com maior raio médio nas profundidades de 10-15 e 25-35 cm. Além disso, os sistemas de preparo não afetaram a massa seca das raízes e o rendimento dos grãos de milho.

A severidade da compactação do solo depende da magnitude e natureza da força compactante, teor de água no solo, textura, densidade do solo, e a quantidade de matéria orgânica incorporada e em cobertura. Os principais fatores envolvidos nesta relação são classificados em duas categorias, sendo uma inerente às características do solo, como teor de água, textura, recalque, quantidade e distribuição de matéria orgânica e a outra relativa às características das máquinas que podem influenciar na compactação, podendo-se mencionar tipos de rodados, pressão de contato, dimensão dos pneus, pressão de inflação e intensidade de tráfego.

As forças que atuam sobre o solo podem ser classificadas em forças internas e forças externas. As forças internas se originam dentro da massa do solo e suas principais fontes são os processos de secagem, contração, congelamento e outros. As forças externas são aquelas aplicadas por veículos, construções, ferramentas, etc.

O uso de tratores de grande potência, aliado a implementos de grande tamanho, ao se movimentarem sobre o solo produzem compactação localizada. O fio cortante cego de implementos, o alto coeficiente de atrito ou adesão solo-metal do deslizamento entre as faces e o inadequado ângulo de trabalho podem também produzir força compactantes no solo agrícola.

É possível reduzir o grau de compactação, estabelecendo-se critérios com níveis de teores de água no solo em que possa trafegar com as máquinas. No entanto, mais importante é determinar os níveis aceitáveis de impacto para cada condição e gerenciá-

las.

Lanças & Upadhyaya (1997) sugeriram medidas para atenuar e até prevenir os efeitos nocivos da compactação, como o aumento do diâmetro e largura dos pneus, rodados duplos, melhor distribuição de peso da máquina, redução da pressão de contato solo-pneu, menor pressão de ar no pneu, restrição de tráfegos em áreas úmidas.

Lanças et al. (1995) avaliaram os efeitos da pressão de inflação de pneus radiais na compactação do solo e na eficiência trativa de tratores agrícolas. Os autores concluíram que, os pneus radiais corretamente inflados com os valores de pressão mais baixas, pode-se obter eficiências trativas mais altas e reduzir o efeito do tráfego na compactação do solo. Balastreire (1987) explica que a possibilidade de medir a compactação e as condições de trafegabilidade de solos com o penetrômetro tem aumentado sua utilização e importância nos estudos de dinâmica do solo.

A resistência à penetração (índice de cone) de solos pode ser medida por aparelhos que permitem avaliar o nível de trafegabilidade e de resistência dos solos à penetração das raízes das culturas. Os penetrômetros são aparelhos destinados a determinar a resistência mecânica do meio no qual penetra. Seu princípio de penetração se divide em dois grupos: os estáticos cuja penetração é realizada por meio de uma força contínua e os dinâmicos cuja penetração é realizada através do impacto de uma massa (STOLF, 1990). Outro instrumento utilizado na caracterização do solo, do ponto de vista da resistência à penetração, fornecendo o parâmetro índice de cone, é o penetrógrafo, que fornece um gráfico de resistência à penetração em função da profundidade alcançada no solo (LOSNAK et al. 1993). Para Machado et al. (1999), o índice de cone pode ser utilizado como um parâmetro adequado para a caracterização das condições físico-mecânicas do solo e estimativas das

interações solo-máquina (trafegabilidade, compactação e métodos de preparo do solo) e solo-raiz (impedimento mecânico, restrição ao crescimento).

A introdução e difusão do uso de penetrômetro de impacto em nosso país se deve, conforme Stolf et al. (1983), aos trabalhos desenvolvidos pelo extinto órgão de pesquisa Planalsucar.

Nos mais simples, o gráfico é gerado diretamente pelo dispositivo mecânico do aparelho e nos modelos eletrônicos, como o desenvolvido por Amaral (1994), os pares de dados (força e profundidade) são armazenados em memórias e posteriormente, transferidos ao computador, que processa as informações e traça o respectivo gráfico.

Novos estudos vem surgindo para obtenção do Índice de Cone, dentre eles, Lins e Silva et al. (1999) propuseram uma metodologia para obtenção do índice de cone de solos em laboratório. O método consiste em preparar amostras de solo em laboratório com diferentes densidades e diferentes níveis de umidade para avaliar a influência do teor de água do solo nos resultados de índice de cone. Tal procedimento mostrou-se adequado, apresentando baixos níveis de coeficiente de variação.

Lanças et al. (1996) e Santos Filho et al. (1996) avaliaram os efeitos do sistema de condução das culturas de milho e tomate, respectivamente, na compactação do solo. Para tanto, os pesquisadores acima citados utilizaram um penetrômetro hidráulico-eletrônico e concluíram que o mesmo foi capaz de identificar as diferenças de compactação do solo em ambas as pesquisas.

Manor et al. (1991) estudou a variabilidade espacial do índice de cone em diferentes sistemas de preparo em condição de tráfego controlado. O experimento foi iniciado em 1979 e os dados foram coletados em 1987, na Georgia-USA. Foram feitas 10

sequências de culturas com várias combinações de soja , sorgo e trigo. Os tratamentos utilizados foram: sem preparo, cultivo mínimo e preparo convencional, sendo que todos os tratamentos foram desenvolvidos com tráfego controlado das máquinas. Os dados de resistência a penetração foram obtidos em linhas de 9,7m de comprimento nas culturas de soja e sorgo com espaçamento de 25cm, sendo feita 9 linhas de coleta de pontos, distribuídos na faixa de tráfego controlado e nas demais. Os mapas de isolinhas foram elaborados através do programa computacional Surfer. Para as duas culturas a variabilidade espacial do índice de cone não foi afetada pelo tráfego controlado, mas foi diretamente afetada pelo tipo de preparo e o tráfego não controlado. Para todos os tratamentos, os locais das passadas dos rodados do trator e os sistemas sem preparo e preparo convencional apresentaram maiores variabilidades espaciais do índice de cone.

Vários autores avaliaram a camada de solo compactada, através da determinação da resistência à penetração. Dentre eles, Silva et al. (1989) obtiveram valor de 17,57 kgf/cm² como índice de compactação do solo. Já, Fernandes & Lanças (1997) avaliando os níveis de compactação do solo causado por tráfego do “Forwarder” em área florestal, obtiveram valores máximos de densidade do solo e resistência a penetração, depois da última passada da máquina de respectivamente, 1,34 g/cm³ e 3,19 MPa.

Dentre vários estudos de variabilidade de parâmetros físicos e químicos dos solos, está o de Libardi et al. (1986) que pesquisando atributos de resistência à penetração, observou influência do preparo do solo nesta característica. Neste contexto, Aase & Pikul (1994) afirmam que, à exceção dos primeiros centímetros superficiais, solos utilizados com plantio direto geralmente apresentam valores de resistência à penetração e densidades significativamente menores do que aqueles com preparo convencional, até a profundidade de

30 cm. Isto indica que, preparos que aparentemente deixam o solo mais poroso logo após a sua execução tem, a longo prazo, um efeito negativo sobre essas propriedades físicas.

Sverzut et al. (2001) explicaram que, o preparo do solo é um fator que pode influenciar fortemente na compactação. A partir disto, desenvolveram um trabalho para avaliar o efeito dos tipos de preparo sobre a compactação dos solos. Os resultados permitiram concluir que, a penetrometria revelou resultados satisfatórios quanto aos efeitos causados pelos diferentes sistemas de preparo e que a análise de resistência do solo à penetração em quatro profundidades evidenciou as diferenças e semelhanças frente aos efeitos dos diferentes sistemas de preparo.

O uso de máquinas e equipamentos na agricultura vem contribuindo para o aumento da produtividade, entretanto, a passagem sucessiva desses elementos na mesma área, aumenta a densidade deste solo e a resistência à penetração das raízes, influenciando negativamente no desenvolvimento das plantas cultivadas nestes solos. Este fato foi verificado por Freitas (1994) em solos cultivados em cana-de-açúcar onde a mecanização é intensiva, utilizando máquinas, veículos e equipamentos pesados e em solos de textura argilosa como a Terra roxa estruturada, Latossolos roxos e Latossolos vermelho-escuro.

Silva Junior & Molin (2001) avaliaram a variabilidade espacial do índice de cone correlacionada com mapas de produtividade. Como resultado os autores explicam que os mapas de índice de cone, gerados com o sistema penetrômetro de cone hidráulico-eletrônico, equipamentos com GPS e utilizando SIG e programas computacionais geoestatísticos, mostraram a variabilidade do índice de cone existente entre as regiões representadas pelos diversos pontos amostrais levantados.

Ralisch et al. (2001) avaliaram os efeitos de uma escarificação em um solo submetido ao sistema de plantio direto, nos dados de resistência do solo à penetração. Os resultados mostram que há um efeito imediatamente após a escarificação na redução dos valores de resistência do solo à penetração das camadas superficiais. Porém, tais efeitos tendem a se neutralizar rapidamente, no período de apenas uma safra agrícola.

O impacto das práticas de manejo e das culturas sobre a estrutura do solo pode ser quantificado por meio de diversos parâmetros, dentre os quais se destaca a densidade do solo devido à facilidade para sua obtenção. A densidade do solo é um parâmetro do solo importante, relacionando-se com outras propriedades intrínsecas, tais como: textura e teor de matéria orgânica. A distribuição do tamanho dos poros na resistência do solo à penetração e a água disponível também estão relacionados com a densidade do solo.

Correchel et al. (1999) cita que os fatores que causam a variabilidade espacial da densidade do solo são o tráfego de máquinas nas operações de manejo, os processos de secamento e umedecimento e o efeito do sistema radicular das plantas.

De acordo com Miranda (1986), além da densidade e o teor de água, a resistência à penetração é também influenciada pelo tipo de solo. Já Mantovani (1987) cita que o melhor método de avaliar a compactação é através da densidade.

A densidade do solo representa uma característica importante para verificar o comportamento quanto a porosidade e compacidade durante o cultivo. É útil ainda para calcular a água com base em volume a partir do teor de água com base em peso seco. A densidade é bastante variável dado a sua dependência da textura, estrutura e grau de compacidade. Seu valor pode atingir de 1,3 a 1,8 g cm³ em solos arenosos e de 1,1 a 1,5 g cm³ em solos argilosos (SILVA, 1984).

Jorge (1985) afirmou que a densidade é um valor variável para um mesmo solo, alterando-se de acordo com a estruturação. Diz, ainda que o manejo incorreto do terreno pode provocar a compactação, alterando a estruturação e conseqüentemente a densidade. Salienta que, a estrutura influencia o desenvolvimento das plantas de várias maneiras. Acrescenta ainda a importância da estrutura como reguladora da aeração, armazenamento e circulação de água, penetração das raízes, disponibilidade de nutrientes, atividade micro e microbiológica e temperatura.

De acordo com Marques Júnior & Corá (1998), a magnitude da variabilidade de propriedades químicas e físicas dos solos, não seguem um padrão definido. Muito pelo contrário, existe uma grande variabilidade espacial das propriedades dos solos que é dependente do próprio parâmetro analisado, do tipo de solo, e da história do manejo da área. Para se ter um bom desenvolvimento da agricultura é necessário um maior conhecimento da variabilidade espacial da densidade do solo em várias profundidades, melhorando a conservação do solo e, conseqüentemente, ocorrendo um aumento da produtividade, sendo que as propriedades físicas e químicas apresentam dependência espacial natural conforme Vieira et al. (2000b). Já, Guimarães (1993) observou que o coeficiente de variação demonstra pequena variabilidade para o parâmetro densidade do solo, indicando a necessidade de poucas amostras coletadas para sua representação. O mesmo autor conseguiu alcance de 70 m para a variabilidade espacial da densidade do solo que revela que este atributo possui uma amplitude de 70 m. Resultados semelhantes foram encontrados por Cardim et al. (1999) que concluíram que a densidade do solo a 30 cm e a 60 cm de profundidade apresentam dependência espacial a distâncias de 66 m e 70 m respectivamente, não existindo uma direção predominante de

continuidade espacial para a densidade do solo, sendo que a densidade a 30 cm apresentou maior variabilidade espacial.

Na comparação entre sistemas de preparo do solo, a densidade tem sido usada freqüentemente. No entanto, não tem sido levado em conta o fato de que os sistemas de manejo do solo e das culturas contribuem para a variabilidade espacial da densidade do solo. Pensando nisso, Correchel et al. (1999) avaliaram a distribuição da densidade do solo em dois sistemas de manejo em um solo cultivado com milho. Foi estudado um Latossolo Roxo sob semeadura direta e preparo convencional do solo, amostrado em transeções perpendiculares às linhas da cultura do milho, permitindo obter amostras nas posições de linha e entrelinha. Como resultado, os autores concluíram que a variação da densidade do solo no campo é influenciada pela posição relativa à linha de cultivo e que a densidade do solo varia de forma sistemática com a linha e a entrelinha nos sistemas de preparo do solo semeadura direta e preparo convencional.

Klein & Boller (1995) avaliando a resposta da cultura do milho e a densidade do solo submetido a diferentes manejos, realizaram um experimento em Passo Fundo, RS. Utilizou-se quatro tratamentos: T1 – plantio direto contínuo, sendo realizada a dessecação das plantas 15 dias antes da semeadura, T2 – arado de discos de 30 “, operando a uma profundidade de 20 cm, T3 – utilizou-se um escarificador com base parabólica a 25 cm de profundidade e T4 – uso de escarificador protótipo. A semeadora-adubadora foi equipada com dois tipos de sulcadores (tipo facão e disco duplo para a colocação do adubo) como sub-parcela. Observou-se que o rendimento de grãos foi afetado positivamente, para o fator sulcador facão, sendo significativo no tratamento plantio direto. Os resultados em relação a densidade do solo, após a colheita de milho, demonstraram maior compactação na camada

superficial (0-5 cm) no tratamento com plantio direto, não ocorrendo diferenças entre tratamentos para as profundidades. Concluíram ainda que, a utilização do sulcador tipo facão, elimina o problema de compactação, proporcionando bom desenvolvimento da cultura do milho.

Moraes et al. (1995) estudaram a correlação de vários níveis de compactação com a densidade do solo, porosidade total e resistência à penetração, objetivando determinar o nível que impede o desenvolvimento das raízes de plantas de soja. O trabalho foi realizado em casa de vegetação, com amostras deformadas do horizonte superficial de uma terra roxa bem estruturada e de um latossolo roxo controlando os níveis de compactação e o teor de água. A influência da compactação no desenvolvimento das raízes foi avaliada um mês após a germinação. A compactação do solo acarretou aumento da resistência à penetração e diminuição da porosidade total. A elevação de sua densidade de $0,90 \text{ kg m}^{-3}$ para $1,31 \text{ kg m}^{-3}$ para o latossolo roxo, promoveu, respectivamente, diminuição de 39 e de 41 % na massa seca das raízes. O desenvolvimento das raízes das plantas ficou impedido quando a densidade do solo atingiu valores de $1,30$ e $1,23 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente, para a terra roxa estruturada e o latossolo roxo.

Lopes et al. (2001) compararam a variação da densidade e os teores de água no solo em área com cultivares de soja sob dois sistemas de cultivo (semeadura direta e preparo convencional). Os resultados obtidos mostraram que a densidade do solo foi maior no sistema de semeadura direta.

Vários autores recomendam que a resistência à penetração seja medida com teores de água próximos à capacidade de campo (MATA, 1988 e HENDERSON, 1989), situação em que se consegue boa correlação entre densidade do solo, a resistência à penetração

e o crescimento radicular. Petter (1990) concluiu que com o teor de água no solo equivalente à tensão de 10 kPa, a densidade do solo de $1,4 \text{ mg m}^{-3}$ não foi limitante ao desenvolvimento radicular da soja. No entanto, o período em que o solo permanece na capacidade de campo é pequeno, de modo que a resistência do solo pode rapidamente variar de níveis não impeditivos para impeditivos com a secagem do solo.

Quando se compara a resistência do solo à resistência a penetração em diferentes manejos, a presença ou ausência de diferenças entre os sistemas podem ser confundidas com as influências desses sobre o teor de água no solo (Chancellor, 1981). Por isso, é importante que a determinação da resistência à penetração seja feita com controle do teor de água, o que permite evidenciar os efeitos dos sistemas de manejo sobre a estrutura do solo.

Beutler et al. (2001) determinou a curva de retenção de água de dois solos em diferentes níveis de compactação. Os autores explicam que a retenção de água no solo foi maior no solo mais argiloso e com maior teor de matéria orgânica. A resistência do solo à penetração foi o indicador mais sensível ao impedimento mecânico do solo, em relação a densidade do solo.

Para Mantovani et al. (1995), quanto maior o teor de água mais suscetível ficará o solo, sendo que o teor de água mais crítico a favorecer a compactação, corresponde aquela faixa próxima a capacidade de campo.

Outro fator influenciado pelo teor de água é a resistência à penetração que segundo Balastreire (1987) aumenta com a compactação, e que para um solo a uma dada densidade, a resistência será maior quanto menor o teor de água existente.

Lanças et al. (2000) estudou a obtenção de mapas de resistência à penetração e teor de água na cultura da cana-de-açúcar. O levantamento foi feito na cultura da cana-de-açúcar em uma área de 422 ha no Estado de São Paulo. Utilizou-se o penetrômetro hidráulico-eletrônico desenvolvido por Lanças & Santos, (1998), com um sistema DGPS Ag GPS-Tribble. As amostras do teor de água no solo foram obtidas colocando-se um tubo amostrador no encaixe do penetrômetro. Os gráficos e mapas foram produzidos usando programas próprios e o programa Surfer. Foram elaborados mapas de isocompactação em quatro profundidades e do teor de água em duas profundidades, representando bem a variação destes atributos.

Carvalho et al. (1992) avaliaram a variabilidade espacial do teor de água no solo, em um latossolo vermelho-amarelo nas tensões de 10, 33 e 1500 kPa, em duas profundidades. A dependência espacial nos dados de teor de água do solo apresentaram anisotropia, valores de alcance de 25 a 80m e efeito pepita na ordem de 10 a 33% da variação total.

Na mecanização agrícola, os índices de compactação são relacionados com os esforços provocados na superfície, mais outros fatores também exercem influências neles, como a porcentagem de argila e o teor de água (Cintra et al. 1983). Os solos argilosos estão mais sujeitos à compactação, pelo fato de as argilas promoverem o fenômeno da plasticidade ao substrato, aumentando a coesão entre as partículas. Com relação a água, quanto maior o teor de água no solo (próximo a capacidade de campo), mais severa é a compactação, pois nestas tensões os solos tem baixa resistência à erosão e são muito mais susceptíveis à compactação.

Segundo Coan (1995), o teor de água do solo é um fator limitante para as operações de preparo e tem grande influência na tração e desempenho dos equipamentos de preparo do solo, o seu excesso pode causar: aumento da plasticidade, impedindo a mobilização e a desagregação; aderência excessiva nos órgãos da máquina e implementos; reduz a capacidade de tração; aumenta a compactação do solo. O teor de água baixo pode causar: dificuldade de penetração dos órgãos ativos no solo; aumento sensível nos esforços de tração, conseqüentemente, de energia consumida; aumento do desgaste dos equipamentos e dificuldade de desagregação do solo.

Libarde et al. (1996) estudaram a variabilidade espacial do teor de água no solo e outros atributos em uma Terra roxa estruturada em Piracicaba Estado de São Paulo. O estudo foi feito em um traçado de 150m de comprimento. Foram coletadas 300 amostras distanciadas de 0,50m a uma profundidade de 0,25 a 0,35m. O comportamento do semivariograma do teor de água no solo, indicou que a maior variação do teor de água ocorreu para distancias de 30m. Esta é uma forma especial de estrutura no espaço na qual os valores para teor de água a uma distancia de 75m assume valores similares aqueles da origem.

Mello et al. (1999) estudaram a variabilidade espacial do teor de água e densidade do solo em Piracicaba, São Paulo. A área onde se fez os levantamentos possui relevo suave e solo classificado como Terra roxa estruturada. Foram utilizadas amostras para avaliação do teor de água e densidade em 250 pontos, a uma profundidade de 25cm e com espaçamento retangular de 5m, formando uma malha de pontos amostrados de 25 linhas por 10 colunas amostrais. A dependência foi verificada através de semivariogramas pelo modelo esférico sendo que, para o teor de água o efeito pepita foi 0.0038, o patamar foi de 0.0093 e o alcance foi de 20m, para a densidade o efeito pepita foi de 0.0030, o patamar foi de 0.0075 e o

alcance foi de 25m. A dependência espacial cruzada entre o teor de água e a densidade foi realizada através da co-krigagem, verificando-se uma correlação espacial negativa.

Follegatti (1996) estudou a estabilidade temporal e a variabilidade espacial do teor de água do solo e do armazenamento de água em um solo siltoso. O experimento foi feito em uma área da Universidade de Davis na Califórnia-USA. Foram avaliados a estabilidade temporal e a variabilidade espacial do teor de água do solo nas profundidades de 0,15 e 0,30m, sendo conduzido durante 191 dias. Uma transeção de 50m de comprimento foi estabelecida, coletando-se amostras do teor de água do solo a uma distância de 1m a cada dois dias. Foi verificado que o teor de água do solo nas duas profundidades apresentou estabilidade temporal, ou seja, qualquer ponto amostrado representou o valor da média dos pontos. Os semivariogramas para teores de água do solo nas duas profundidades apresentaram estrutura de variação no espaço, indicando que esta propriedade não ocorre aleatoriamente em um alcance de 10m.

De acordo com Mello et al. (1999) existe dependência cruzada entre teor de água e densidade do solo, sendo possível a utilização da co-krigagem para a estimativa de valores.

A ocorrência de compactação do solo causa grande influência na curva de retenção de água no solo, uma vez que provoca alterações na estrutura do solo e na relação entre macro e microporos (HANKE et al., 1999).

Tormena & Roloff (1996) relatam que o plantio direto destaca-se com um sistema efetivo para o controle das perdas de solo e água sob condições climáticas do Brasil. Já, Silva & Melo Filho (1993) estudando os efeitos causados pelo plantio direto e o preparo convencional do solo em um podzólico vermelho-amarelo em Fortaleza – CE,

combinado com a ausência e presença de parcelas com plantio direto, independentemente da adição ou não do nitrogênio, produziu duas vezes mais que no preparo convencional e que as perdas de água foram 233 mm para o preparo convencional e 184 mm para o plantio direto. O teor de água no solo foi mais elevado nas parcelas submetidas ao plantio direto.

Para Barcelos et al. (1999), a infiltração de água é uma propriedade que reflete as condições físicas do solo, principalmente quanto à sua qualidade estrutural. Os autores realizaram um estudo na Embrapa Trigo, em Passo Fundo (RS), em um Latossolo Vermelho-Escuro, submetido por longo tempo a diferentes sistemas de manejo, com objetivo de verificar a influência desses sistemas na taxa de infiltração de água. Como resultado concluíram que os preparos conservacionistas do solo (sistema plantio direto e cultivo mínimo) apresentaram taxas de infiltração de água no solo superiores às do preparo convencional, exceto no período imediatamente após o preparo do solo. Além disso, verificaram que as maiores taxas de infiltração de água no solo ocorreram no sistema de cultivo mínimo, enquanto as maiores taxas de cobertura da superfície do solo ocorreram no sistema de plantio direto.

Conforme Castro & Vieira (1998), o potencial matricial de água no solo pode fornecer dados que ajudam a caracterizar o movimento de água no solo e o efeito dos sistemas de preparo do solo e cobertura morta nesta dinâmica. A partir disto, os autores avaliaram três sistemas de preparo primário do solo: arado de disco (Plantio Convencional – PC), arado escarificador (PE) e plantio direto (PD) em um Latossolo Roxo distrófico. Durante oito anos se cultivou soja em rotação com milho, tendo no inverno aveia preta (*Avena strigosa*). Após a colheita da aveia, fez-se o preparo do solo e plantio do milho. Os resultados evidenciaram que nas profundidades 60,90 e 120 cm, a maior quantidade de água nestas

camadas, especialmente até meados de janeiro, dos sistemas PD e PE em relação ao PC. Isto mostra que estes sistemas em períodos de menor precipitação, que é o caso, mantiveram uma reserva maior de água no solo, consequência da maior infiltração por ocasião das chuvas. No PC como a enxurrada é acentuada, ocasionando maior erosão, a água armazenada em profundidade é menor, o que em períodos de secamento longo pode levar ao déficit hídrico do solo, comprometendo o desenvolvimento das plantas.

Klein & Libardi (1998) explicaram que o manejo do solo sob plantio direto, embora aumente a densidade do solo, bem como a resistência à penetração das raízes, aumenta o volume de água armazenada e disponíveis às plantas. Para Gomes Filho & D'ávila (1999), as deficiências na capacidade de água disponível do solo podem resultar num risco aumentado de seca e estresse hídrico da cultura.

Vários trabalhos avaliando o efeito da compactação na curva característica de água no solo foram estudados. Dentre eles, Dias Jr. & Estanislau (1999) avaliaram o efeito da compactação na curva característica de água no solo, utilizando Latossolo Roxo (LR), Latossolo Vermelho Amarelo (LV) e Latossolo Vermelho Escuro (LE), sob três tipos de manejo: cultura anual, pastagem e mata natural. A umidade média ótima de compactação do LR ($0,31 \text{ kg kg}^{-1}$) sendo maior do que o LV e LE para as três condições de manejo. Para o LV e LE, a densidade do solo máxima aumentou na seguinte ordem: cultura anual, pastagem e mata natural (para o LV, 1,92; 1,94 e 1,95 kg dm^{-3} , respectivamente, e para o LE 1,89; 1,92 e 1,93 kg dm^{-3} , respectivamente); entretanto o LR, obteve a seguinte ordem: mata natural, cultura anual e pastagem (1,83; 1,92 e 1,93 kg dm^{-3} , respectivamente).

A utilização da adubação verde conforme Silva et al. (1999), é muito eficiente na descompactação, principalmente nas camadas superficiais e utilizando-se o a

rotação de cultura, a resistência à penetração tende a reduzir. Como resultados destes estudos Costa et al. (1999) avaliando a influência de quatro espécies de adubos verdes, sobre a resistência à penetração (Índice de Cone), em um Latossolo Roxo Eutrófico, evidenciaram grande eficiência com mucuna anã e crotalária spectabilis, proporcionando maior benefício quanto a descompactação do solo na camada de 0-20 cm.

Segundo Salvador & Granato (1999), o efeito da compactação na produção das culturas é difícil de ser observado. Da mesma forma, é muito difícil estabelecer valores limites para a densidade, a porosidade, a penetrabilidade e a infiltração, pois dependem das condições presentes em cada local ou gleba.

Para Lins & Silva et al. (1999), o estudo da compactação dos solos agrícolas constitui, nos dias atuais, um dos maiores problemas e desafios à prática conservacionistas de manejo de solos.

4.5 Propriedades químicas do solo

Para Silva (1999), a avaliação da fertilidade do solo é o primeiro passo para a definição das medidas necessárias para a correção e o manejo da sua fertilidade. A análise química é um dos métodos quantitativos mais utilizados para diagnosticar a fertilidade.

A matéria orgânica é determinada colorimetricamente; o pH é medido em solução de cloreto de cálcio centimolar, determinando-se, nessa mesma suspensão, o pH na solução-tampão SMP, que permite calcular a acidez potencial do solo. Fósforo, cálcio, magnésio e potássio são extraídos do solo por uma mistura de resinas trocadoras de cátions e ânions em meio aquoso a após agitação durante 16 horas (RAIJ & QUAGGIO, 1983).

Em condições naturais, o solo encontra-se num estado estável ao ambiente, mas o manejo inadequado causa degradação, principalmente da fração orgânica, comprometendo a sustentabilidade de sistemas agrícolas (GONÇALVES & CERETTA, 1999). Por outro lado, em solos onde há uma topografia favorável à mecanização, apresentam atributos físicos, como densidade, estrutura e porosidade, adequados à prática agrícola tecnificada, necessitando, no entanto, de correções das deficiências nutricionais às culturas (LOPES, 1984).

Em termos de fertilidade do solo (Wiethölter, 1997) explica que o manejo para o sistema de plantio direto nem sempre são os mesmos aplicados para o manejo do sistema convencional. De acordo com Pavan et al. (1982) e Farina & Channon (1988), vários estudos vem evidenciando as limitações causadas pela acidez no subsolo à produtividade agrícola, devido a fatores como restrição ao crescimento radicular e absorção de água e nutrientes pelas plantas. Portanto é necessário o estabelecimento de critérios específicos para a recomendação de calagem no sistema plantio direto (CAIRES et al., 1999).

Muitos estudos tem sido realizados para verificar o comportamento da fertilidade do solo em sistema de plantio direto, em diversos tipos de solo e em período prolongado, que é realmente necessário para tirar conclusões a respeito das modificações físicas, químicas e biológicas no perfil do solo face ao modo de aplicação deste sistema.

As propriedades químicas do solo podem influir diferenciadamente através de diferentes métodos de preparo. Assim, por exemplo, o teor de nutrientes na camada superficial pode ser diferentemente influenciado pela ação incorporadora do arado e parcialmente também pela ação do escarificador, acarretando diferentes gradientes de concentração. Por outro lado, as alterações na estrutura do solo, resultantes dos diversos

métodos de preparo, podem agir indiretamente sobre as propriedades químicas do solo. Como consequência, as alterações na estrutura do solo e no balanço hídrico resulta em atividade biológica distinta que, por sua vez, influi decisivamente no nitrogênio e fósforo.

Muzilli (1983) avaliando as culturas de milho e trigo constatou deficiência de nitrogênio no tecido foliar, no sistema de plantio direto, com diferenças significativas em relação ao preparo convencional. Buchanan & King (1993) explicam que é muito importante avaliar o tempo de adoção do plantio direto, visto o efeito dos resíduos na liberação de nutrientes ao longo do tempo, em função de diferentes taxas de decomposição.

A matéria orgânica do solo ou o carbono é um componente crítico associado com a produtividade dos agrossistemas. O carbono do solo provê um vínculo importante entre sustentabilidade e produtividade dos sistemas agrícolas de produção. Reicosky (2000) indicam que os cultivos mediante preparo intensivo normalmente causam uma diminuição de C orgânico do solo. O plantio direto tem sido proposto como alternativa a tais sistemas de cultivo, por reduzir a degradação do solo e minimizar a erosão. O plantio direto geralmente leva a um aumento de carbono nos primeiros 5 – 10 cm do perfil do solo, quando comparado com solos submetidos à aração com aivecas.

O aumento do teor de matéria orgânica tem vários efeitos positivos, melhora a retenção de água, aumenta a estabilidade dos agregados, reduz os efeitos da compactação e, sobretudo, aumenta a capacidade de troca do solo, traduzindo-se em um aumento significativo da produtividade. No entanto, não está claramente definido como a quantidade de matéria orgânica evita a compactação, mas sabe-se que devido à menor densidade das partículas orgânicas estas funcionam como um amortecedor das pressões aplicadas (EKWUE & STONE, 1995).

Bayer & Bertol (1999) avaliaram os conteúdos de C e N na matéria orgânica total e na sua fração grosseira, bem como as características químicas de um Cambissolo Húmico submetido ao preparo convencional, preparo reduzido e plantio direto, durante nove anos, no município de Lages, SC. A partir disto, concluíram que o plantio direto e preparo reduzido resultaram em aumento nos conteúdos de C e N no solo, em relação ao preparo convencional; os aumentos restringiram-se às camadas superficiais do solo. Verificaram ainda que, as concentrações de Ca, K e P apresentaram maior estratificação em profundidade no plantio direto do que nos sistemas de preparo reduzido e convencional.

Os resultados obtidos por Siridas & Pavan (1985) mostram que, no plantio direto, a tendência de acidificação do solo é inferior ao plantio convencional devido a menor taxa de mineralização de material orgânico acumulado na superfície, além do maior conteúdo de água no solo, promovendo maior diluição da solução do solo.

Segundo Souza et al. (1998), os sistemas de manejo conservacionistas criam um ambiente no solo diferentes daquele encontrado no sistema convencional, encontrando-se um acúmulo superficial de fertilizantes, representando novos desafios para a amostragem do solo.

No plantio direto, o não revolvimento do solo implica em menor superfície de contato entre o íon fosfato e os colóides do solo, resultando em menor taxa de imobilização. Com isso, para a formação e atividade dos nódulos das leguminosas em bom fornecimento de fósforo é de fundamental importância para melhorar a fixação de N_2 e o rendimento das culturas. Isto pode ser explicado devido ao fósforo disponível no solo é equilibrado por formas menos lábeis, as quais, a longo prazo, podem-se tornar potencialmente disponíveis às plantas (RHEINHEIMER et al., 2000).

Para qualquer sistema de preparo / cultivo existe uma tendência para maiores concentrações do fósforo nas camadas superficiais , uma vez que este elemento é considerado como “imóvel”. Em plantio direto o acúmulo do fósforo nas camadas superficiais tende a ser maior já que não existe o revolvimento habitual do solo.

A principal vantagem da concentração deste elemento na camada superficial do solo, é a racionalização do seu uso como fertilizante, cujas dosagens a serem adicionadas para o bom desenvolvimento das plantas exploradas agronomicamente podem ser diminuídas, uma vez que a maioria do sistema radicular destas culturas se localiza nos primeiros 0,20 m de profundidade. Entretanto, para que haja uma eficiente absorção dos nutrientes pelas plantas, é necessária de uma boa relação entre a água e o ar do solo e, neste caso, a presença do elemento em camadas mais profundas (que apresentam maiores teores de água) seria mais interessante.

Buchanan & King (1993) avaliaram a perda de carbono e fósforo, por meio da decomposição de resíduos de soja, milho, trevo e trigo, nos sistemas de preparo convencional e plantio direto por 100 semanas. Durante esse período observaram que as perdas de carbono e fósforo em todos os resíduos, foi mais rápida e elevada no preparo convencional, independente da época do ano. A concentração de fósforo no tecido das culturas seguiu a seguinte ordem: parte aérea do trevo> folhas de soja> caule de soja> parte aérea do milho> raiz do trevo> parte aérea do trigo.

De acordo com Sá (1995), o fósforo no sistema de plantio direto difere em relação ao convencional em três pontos básicos: a) O não revolvimento do solo reduz o contato entre colóides e o íon fosfato, amenizando as reações de adsorção, b) A manutenção de resíduos culturais sem a sua incorporação ao solo, resulta na formação de linhas com maior

concentração de fósforo devido à fertilização das culturas e c) A mineralização lenta e gradual dos resíduos, proporciona a liberação e redistribuição de formas orgânicas de fósforo mais estáveis e menos susceptíveis às reações de adsorção.

Em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico de textura argilosa, Santos et al. (1995) conduziram um experimento de rotação de culturas com aveia branca, cevada, ervilhaca, milho e soja utilizando-se dois métodos de preparo do solo, o convencional e o plantio direto para verificar o efeito na fertilidade do solo e na produção de grãos. Foi aplicado calcário na superfície do solo no método de plantio direto e a mesma dosagem e época para o plantio convencional, porém com revolvimento através de arado de discos e grade. Não foram constatadas diferenças para o pH em água, Al, Ca, Mg e K trocáveis após três anos de cultivo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm em ambos os métodos de preparo.

Muzilli (1983) verificou que em Latossolo Roxo e um Latossolo Vermelho-escuro a distribuição e acúmulo de cálcio e magnésio trocáveis na camada arável do solo, comparando os sistemas de cultivo em plantio convencional e plantio direto, que há tendência de diminuição gradativa da disponibilidade destes elementos nas partes mais profundas da camada arável. Em Latossolo Roxo e sob plantio convencional houve diminuição do pH, sobretudo nos primeiros 15 cm de profundidade em relação aos teores iniciais; em plantio direto a tendência foi de predominarem valores de pH iguais ou superiores aos iniciais em ambos os tipos de solo.

A quantidade de resíduos vegetais que permanece no solo no plantio direto é o mesmo que no plantio convencional, mas no plantio direto, eles ficam na superfície. Essa diferença provoca alterações na taxa de decomposição do material vegetal, pois é menor o contato dos microorganismos e por isso a taxa de decomposição é menor e o teor de matéria

orgânica é superior concentrando-se na camada superficial, correspondendo-se na camada superior, correspondendo assim, à uma atividade microbiana duradoura em relação ao plantio convencional.

O retorno de resíduos vegetais é importante fonte de matéria orgânica que contribui para a formação de uma estrutura de solo estável e, além disso, ajudam a manter a fertilidade em níveis elevados. No entanto, o efeito que pode ser considerado mais importante é o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo, pois além do fornecimento de nitrogênio pela decomposição do material orgânico, há aumento de outros nutrientes como P, K e Ca.

Holtz & Sá (1995) explicaram que a manutenção dos resíduos na superfície provocam alterações que refletem diretamente na fertilidade do solo tais como: a redução do processo erosivo, permitindo maior oferta e disponibilidade de nutrientes as plantas, a alteração do teor de água e na temperatura do solo, a elevação da taxa de infiltração e o armazenamento de água por períodos mais prolongados, alterando os mecanismos de movimentação e redistribuição de nutrientes com maior mobilidade no solo, como N, S e o K.

Em função da heterogeneidade do solo, uma questão que sempre sugere é sobre o número de observações necessário para estimar valores das propriedades do solo de uma área, com suficiente precisão e representatividade; a recomendação geral é de que 15 a 20 pontos amostrais são suficientes (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1989).

Para Orlando et al. (2000), o conhecimento da variabilidade espacial da fertilidade do solo é importante para a tomada de decisão, a respeito das técnicas de manejo a adotar em uma determinada área. Um dos problemas encontrados na determinação da variabilidade espacial da fertilidade é o tamanho da grade a se amostrar. Quanto menor a

malha melhor a precisão dos mapas gerados; entretanto uma malha muito pequena pode significar um elevado custo e um elevado tempo gasto em laboratório para sua obtenção.

Na caracterização das áreas de diferente potencial de produtividade em um campo agrícola, Vieira et al. (2000b) explicaram que têm sido adotadas técnicas de amostragem em grade ou em células. Além da questão da densidade da amostragem e do número de níveis adotados, que podem resultar em informações distintas, o método de interpolação dos dados também interfere na qualidade do mapa.

Mapas de fertilidade são usados em agricultura de precisão fundamentalmente para determinação dos mapas finais de aplicação de fertilizantes à taxa variável. King et al. (1998) apresentou mapas de aplicação de Nitrogênio, enquanto Yang et al. (1998) interpolou mapas de aplicação de Nitrogênio e Fósforo para aplicação à taxa variável.

O estudo da variabilidade espacial das propriedades químicas e físicas dos solos é particularmente importante em áreas onde o solo está submetido a diferentes manejos, pois a análise geoestatística pode indicar alternativa de manejo não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo na produção das culturas (Trangmar et al., 1985), mas também para aumentar a possibilidade de se estimarem respostas dos atributos do solo em função de determinadas práticas de manejo (Ovalles & Rey, 1994). Além disso, a eficácia das estratégias de amostragem do solo pode ser aumentada com a incorporação de um modelo de variabilidade espacial (Brus, 1993).

A amostragem dos solos para caracterização da variabilidade espacial é o ponto chave para um programa de agricultura de precisão, principalmente nas áreas sob sistema de plantio direto (PD), considerando que deve ser nestas áreas que um programa de agricultura de precisão deve se estabelecer. A estreita margem de lucro da produção agrícola e

a maior preocupação com a poluição ambiental têm aumentado consideravelmente o interesse no uso eficiente dos produtos para fertilização (Torre Neto, 1997). No sistema de PD, a concentração de nutrientes na superfície e nas linhas de adubação, aliada a não mobilização do solo, fazem com que a amostragem seja ainda mais crítica que no sistema convencional (SALET et al., 1997).

É necessário dar atenção às estratégias de amostragem para mapear a variabilidade espacial dos solos, pois só a partir de sua modelagem é possível gerar mapas mais consistente e com precisão. Há um grande número de estratégias de amostragem (Webster & Oliver, 1990), sendo que uma das mais utilizadas na agricultura de precisão é a amostragem sistemática em malha (grade) regular. Apesar das evidências empíricas mostrarem que este tipo de amostragem parece ser mais preciso do que a amostragem aleatória, é necessário considerar as tendências periódicas (adubação em linha durante anos sucessivos, o padrão de tráfego dos equipamentos utilizados, etc.). Este efeito pode ser reduzido pela escolha de um padrão de amostragem que não coincida com o espaçamento e orientação das tendências periódicas (DICK et al., 1996). A intensidade da amostragem em áreas sob uso contínuo depende de vários fatores, como por exemplo, os níveis dos nutrientes em relação às necessidades das culturas, os padrões da variabilidade espacial destes nutrientes, as recomendações de adubação utilizadas, a expectativa de resposta á adubação, e os custos adicionais decorrentes do esquema de amostragem (MALARINO, 1998).

Coletadas e analisadas as amostras, os resultados da análise de solo são usados para gerar mapas da fertilidade. Kuhar (1997) citou que geralmente é feito um mapa para cada propriedade do solo. Métodos matemáticos, como a krigagem por exemplo, se encarregam de ajustar as áreas entre as amostras criando mapas mais similares aos níveis de

nutrientes no solo. Assemelha-se muito à confecção de mapas topográficos ou de elevação, usando pontos para mensuração e sendo representados por isolinhas ou linhas de contorno. Esses mapas perdem a malha regular das células das grades e a área divide-se em pequenas áreas irregulares referentes às mesmas fertilidades (linhas de isofertilidade).

Souza et al. (1997) relataram que o conhecimento do alcance da dependência espacial dos atributos do solo pode ser um critério para definir o intervalo das amostragens. Porém, estes valores dependem da escala, da intensidade da coleta e do manejo da área (Webster & Oliver, 1990). Segundo os mesmos autores, não se pode concluir sobre padrões de variabilidade das propriedades além da área objeto da coleta. Afirmam ainda que as propriedades físicas e morfológicas podem ser mais importantes que a fertilidade para explicar a variabilidade na produção das culturas e podem ser mais úteis no delineamento de zonas homogêneas de manejo para agricultura de precisão.

O uso de técnicas de agricultura de precisão com a finalidade de mapear e manejar a variabilidade de atributos de fertilidade do solo introduz um fato novo nas lavouras, na medida em que se deixa de considerar determinadas áreas agrícolas como uniformes para dividi-las em pequenas parcelas, que passam a ser analisadas individualmente quanto a quantidade e qualidade de insumos a receber (SARAIVA et al., 2000).

Manzione (2002) estudou a variabilidade de atributos químicos do solo por meio das técnicas da geoestatística. Como resultado elaborou mapas de fertilidade através das técnicas de krigagem e mapas de recomendação de corretivos e fertilizantes em sistema digital, através de um sistema de informação geográfica (SIG).

Para avaliação da fertilidade do solo Maria et al. (2000) estabeleceram 92 pontos e coletaram amostras de solo nas profundidades de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm, 40 a 60

cm e 60 a 100 cm. Nestas amostras foram analisados: pH, H + AL, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Para confecção dos mapas os autores utilizaram a krigagem como método de interpolação, utilizando-se os parâmetros dos semivariogramas calculados. As correlações mais importantes, entre os atributos químicos determinados, ocorreram entre Ca e Mg, pH e H + AL e H + AL e V%. O fósforo, o potássio e a matéria orgânica não apresentaram correlação significativa com qualquer outro atributo determinado. O pH e o K não apresentaram dependência espacial, na amostragem de solo de 0 a 20 cm. Para todas as outras variáveis, e nas demais profundidades, foi observada estrutura de variância, com modelo esférico na maioria dos casos.

Yanai et al. (2001) determinaram o pH, a capacidade de troca cátions, o carbono total, o nitrogênio total, a relação C/N, o fósforo disponível, o N inorgânico, o N mineralizável além do Ca, Mg, K, e Na em 100 amostras de solo em uma área de 50 X 100 metros de arroz. A análise geoestatística indicou moderada a alta dependência espacial para as propriedades do solo. Uma dependência espacial com alcance de 20 a 30 metros foi encontrada para pH. Dependência espacial com alcance de 40 metros para fósforo, Ca e Mg e K apresentou dependência espacial de 50 a 6 metros.

Silva et al. (2002) avaliaram os estudos da variabilidade de atributos de acidez do solo e espacializar a necessidade de calagem na área de soja sob plantio direto localizado em Carambú – PR. Os resultados indicaram a necessidade de aplicar-se, em média, 75 % mais de calcário na área em estudo, em relação à quantidade de calcário para aplicação a uma taxa variável.

Rodrigues et al. (2002) estudaram a estrutura da variabilidade espacial para alguns atributos químicos do solo sob plantio direto visando, o possível manejo da

variabilidade em termos de taxas ou doses variáveis de aplicação. Os resultados expressaram uma dependência espacial de 70, 60, 44, 20 e 175 metros, respectivamente, para pH, V%, Ca, Mg e K.

Couto et al. (2002a) avaliaram a variabilidade espacial de alguns nutrientes do solo para a recomendação de adubação corretiva, a partir da técnica do chamado manejo localizado. Como resultado, os autores explicam que, a aplicação localizada de calcário, apesar de não ter apresentado economia quando comparada ao método tradicional de cálculo, permitiu a escolha de três faixas de aplicação. Para a fosfatagem a aplicação de super simples para correção, aplicando o valor médio de cada faixa estimada pela krigagem, proporcionou economia de adubo no talhão comercial (88 ha), quando comparada ao método tradicional.

Mello et al. (2000) avaliaram a variabilidade e dependência espacial do conteúdo de matéria orgânica em uma área de solo classificado como Nitossolo Vermelho Distrófico em Botucatu – SP. Os resultados permitiram concluir que, na profundidade de 0-20cm, os dados apresentaram distribuição normal, com baixa variabilidade, dependência espacial com alcance de 14 metros e de 20-40cm com distribuição log normal, média variabilidade e dependência espacial de 16 metros.

Couto et al. (2002b) elaboraram um estudo testando três métodos usuais de interpolação (krigagem ordinária, distribuição normal e no inverso do quadrado da distância) em um conjunto de 110 observações relacionadas com o teor de fósforo disponível (P). Como resultado os autores explicam que, o método de krigagem foi o que melhor representou a distribuição espacial dos valores de P quando comparados aos métodos da

distância normal e inversa. Além disso, o método da krigagem mostrou a maior economia na aplicação de fertilizantes, quando comparada à forma tradicional de aplicação.

Avaliando o mapeamento da produtividade de café e sua correlação com componentes da fertilidade do solo Molin et al. (2002) executaram amostragem de solo em grade com amostras compostas de 50 m, dos quais foram analisados os componentes da fertilidade através da técnica da geoestatística, utilizando-se o método da krigagem. Como resultado os autores explicam que, todos os componentes de fertilidade estudados se ajustaram melhor para os modelos exponencial e esférico, com exceção do componente cálcio, que se ajustou-se melhor ao modelo gaussiano.

Lopes et al. (2002) avaliaram a variabilidade espacial dos atributos de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e potencial de hidrogênio (pH) nos anos de 1998 e 2000. Como resultado observaram que K apresentou efeito pepita puro, isto é, ausência de dependência espacial. O pH, Ca e Mg aumentaram em valores, com predominância de teores altos e muito altos.

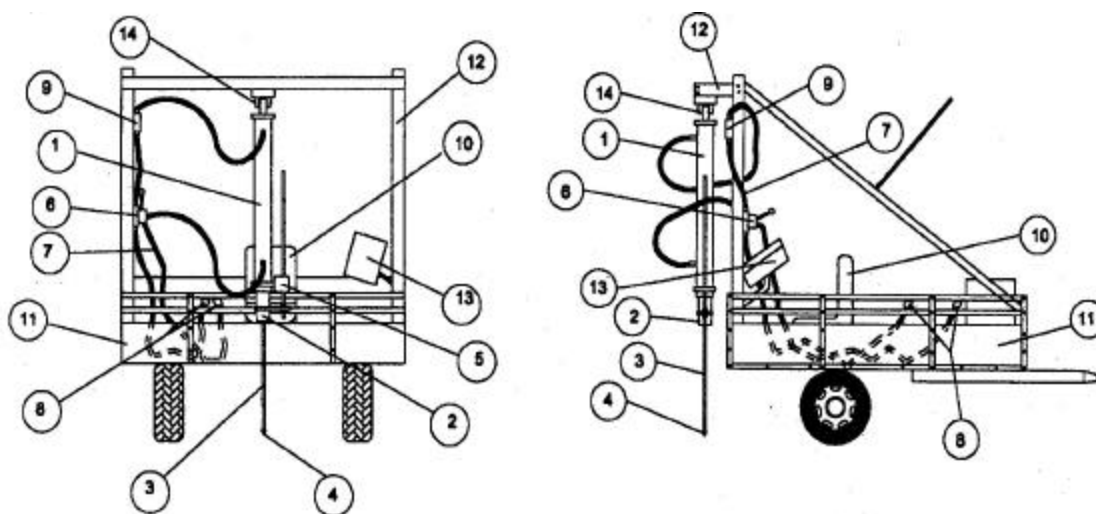
5 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no Campus Experimental da Fazenda Lageado – FCA/UNESP – Botucatu, SP, de coordenadas geográficas de 22°52'20" latitude S e 48°26'37" longitude W. Gr. A área situa-se na meia encosta, com declividade e altitude médias de 10 % e 780 m, respectivamente. Os solos da Unidade Lageado foram descritos no Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado de São Paulo como Terra Roxa Estruturada distrófica, textura argilosa e pela classificação da Embrapa (1999) pode ser enquadrado na classe dos Nitossolos Vermelho Distroférico.

Foram acompanhados dois sistemas de manejo do solo: plantio direto e plantio convencional, subdivididos em quatro áreas de aproximadamente 5 hectares cada, sendo realizado o georreferenciamento dos talhões e dos pontos amostrais. A amostragem de solo da área para o levantamento da resistência mecânica do solo à penetração foi realizada com a malha regular (grade) de 35 X 35m, gerando aproximadamente 30 pontos de amostragem. As demais amostragem de teores de água, de densidade e de fertilidade foram feitas com malha regular (grade) de 50 X 50 m, gerando 20 pontos de amostragem. Foram

realizadas ao longo de dois anos de cultivo destas áreas, três novas avaliações buscando analisar as interferências nas áreas amostrais, seja para o preparo do solo, cultivo, aplicação de defensivos, implantação de novas culturas para comparar a influência do tipo de manejo, nos sistemas de plantio direto e plantio convencional.

Para a determinação da resistência mecânica à penetração do solo, foi utilizado um penetrômetro hidráulico-eletrônico, de acordo com Lanças & Santos (1998), como apresentado na Figura 1.



Legenda: (1) pistão hidráulico, (2) célula de carga, (3) haste de penetrômetro, (4) cone do penetrômetro, (5) potenciômetro de deslocamento, polia de enrolamento e cabo, (6) válvula de acionamento hidráulico, (7) mangueiras hidráulicas, (8) engates rápidos, (9) válvula reguladora de vazão de precisão, (10) assento do operador, (11) carreta de transporte, (12) torre de sustentação do pistão, (13) microllogger 23x e (14) pino de engate.

FIGURA 1. Vista do penetrômetro hidráulico eletrônico.

O penetrômetro hidráulico-eletrônico, montado sobre uma carreta para transporte rodoviário, é utilizado em tratores com sistema hidráulico, apresentando uma haste com cone com área da base de 320 mm^2 , ângulo sólido de 30° e velocidade constante de penetração no solo de 30 mm s^{-1} , conforme ASAE S313.2 (1991). O sistema eletrônico possui

um sistema de aquisição de dados (Microllogger 23X, Campbell, Figura 2), sensor de força (célula de carga de 10000 N) e sensor de profundidade (potenciômetro rotativo). O sistema hidráulico possui uma válvula de acionamento de 3 vias, uma válvula controladora de vazão e um pistão acionado pelo sistema hidráulico do trator.

O sistema DGPS é composto por um receptor modelo AgGPS 132 – Trimble e uma antena com correção diferencial com o sinal fornecido pela OmniStar. As informações foram transferidas e gravadas diretamente em um microcomputador portátil via interface serial RS-232C.



FIGURA 2. Vista do penetrômetro hidráulico eletrônico equipado com sistema DGPS e suas aplicações à campo.

O sistema contém ainda uma barra de luzes e um sensor de roda, como mostra a Figura 3. Essa barra de luzes foi desenvolvida para fazer aplicações em faixas paralelas e é utilizada para guiar o operador a manter-se numa direção em linha reta. Este equipamento é um conjunto de pequenas luzes (Led) que acendem a medida que a máquina se afasta do alinhamento pré determinado, como mostra a Figura 4. Um sensor de roda foi utilizado para possibilitar o deslocamento da carreta para amostragem em malha.



FIGURA 3. Vista de barra de luz e sensor de rotação.

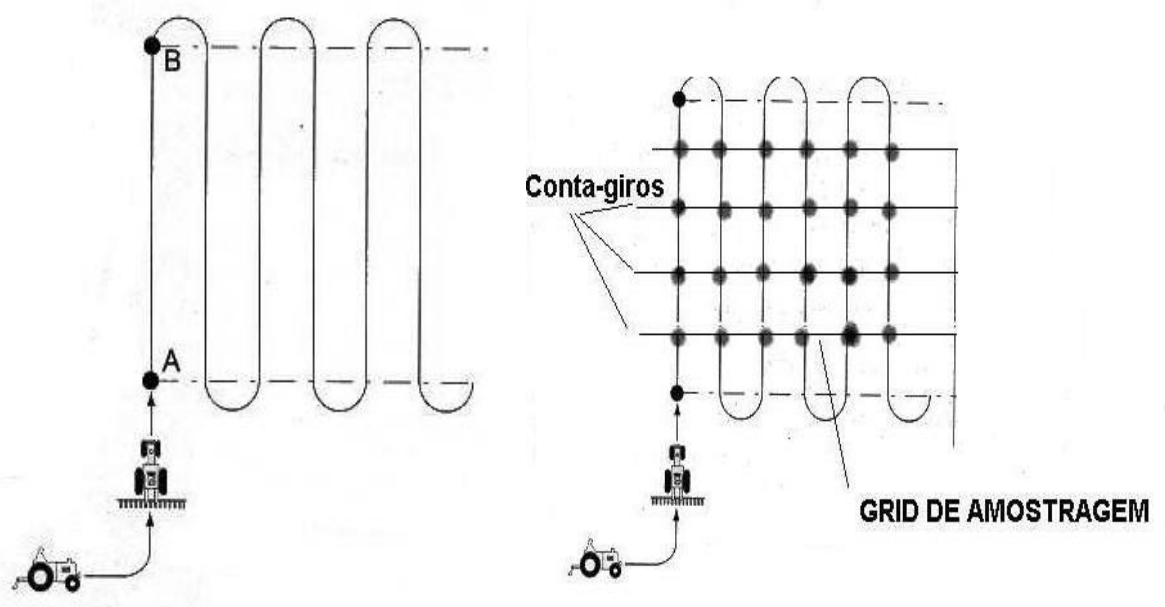


FIGURA 4. Utilização da barra de luz e sensor de rotação e suas aplicações em campo.

O Quadro 1, apresenta o histórico das quatro áreas em estudo contendo as informações das épocas de amostragem de solo.

QUADRO 1. Histórico das áreas e época de amostragem do solo.

Área	Meses: ano (1): 2001 – ano (2): 2002											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 - Convencional												
2 - Convencional												
3 – Plantio Direto												
4 – Plantio Direto												

As faixas de profundidades que foram calculadas para determinação do índice de cone foram de 0-100 mm, 100-200 mm, 200-300 mm, 300-400 mm e maior que 400 mm, espaçadas de 35 em 35 metros.

Foram coletadas amostras indeformadas de solo com martelo e anéis volumétricos de 50 mm de diâmetro e 52 mm de altura, para posterior análise em laboratório, determinando assim, a densidade do solo, segundo metodologia utilizada pela Embrapa (1997). O valor da densidade do solo foi estabelecido pela relação entre a massa do solo seca em estufa a 105 °C por 36 horas e pelo volume contido no anel metálico.

O teor de água no solo foi determinado durante as fases de avaliação da densidade do solo, no mesmo dia das avaliações com o penetrômetro hidráulico eletrônico. Os dados foram determinados pelo método gravimétrico, em função da relação entre a massa de solo contida numa amostra sobre a massa da amostra seca em estufa a 105 °C por 36 horas.

A análise textural foi realizada pelo método da pepita que é utilizado universalmente na análise granulométrica do solo, devido à sua simplicidade e precisão.

Na coleta de amostras de solo para avaliação da densidade e teor de água, foram coletadas também amostras de solo pontuais para a determinação da fertilidade em profundidades de 0-20 e 20-40 cm. Os teores de M.O (matéria orgânica), pH, P (fósforo), Ca (cálcio) + Mg (magnésio) e K (potássio) foram determinados segundo métodos descritos por SILVA (1999).

A partir disto, realizou-se a localização dos talhões referentes as áreas destinadas à agricultura de precisão, obtidas através do Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS), acoplado ao penetrômetro hidráulico-eletrônico, fornecendo dados instantâneos e possibilitando a geração de mapas. As coordenadas dos pontos de amostragem obtidos no sistema DGPS em Latitude/Longitude sofreram transformações para o sistema UTM.

As áreas descritas como convencional 1 e 2 possuíam aproximadamente 5 ha cada e utilizavam basicamente o preparo convencional do solo, com uma aração e duas gradagens. Entretanto, devido as áreas serem didáticas e destinadas para experimentos na Faculdade de Ciências Agronômicas, em ambas as áreas foram deixadas uma faixa central sendo manejada apenas com uma aração.

Estas áreas foi cultivadas com a cultura do Milho (*Zea mays* L.), com adubação de 400 kg ha⁻¹ de 4-14-8 (N-P-K) e na entre safra com Milheto (*Pennisetum glaucum*).

Esta área foi utilizada para a condução da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), na última avaliação realizada. Atualmente, a área esta sendo cultivada com a mesma cultura.

A terceira área possuía 3,90 ha, implantada com o sistema de plantio direto. Foi iniciado o sistema de produção com plantio direto em 1997. Para implantação do sistema de plantio direto utilizou-se basicamente, a dessecação química com 5,0 l ha⁻¹ de Roundup, sendo implantada a cultura do Milho (*Zea mays* L.), com adubação de 300 kg ha⁻¹ de 8-28-16 (N-P-K) + 0,5% de zinco. Para a adubação de cobertura foi utilizado 150 kg ha⁻¹ de uréia na cultura do milho, sendo que esta área encontrava-se em pousio na última avaliação.

A quarta área possuía 4,22 ha, e foi conduzida utilizando o sistema de plantio direto. A área foi cultivada neste sistema deste 1998, com o cultivo de milho (*Zea mays* L.). A partir de 1999 implantou-se a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), com adubação de 300 kg ha⁻¹ do adubo formulado (N-P-K) 8-28-16. Após a colheita mecânica da soja, em meados de abril de 2000, foi semeada aveia preta (*Avena strigosa*, var. Comum). Em agosto de 2000 foi semeado milheto (*Pennisetum glaucum*, var. BN-2), em semeadura direta.

Em outubro de 2000, fez-se a dessecação química com 5,0 l ha⁻¹ de Roundup + 200 ml ha⁻¹ de 2,4 D. Em 2001 a área foi conduzida com a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), sendo colhida em abril de 2001. Em 2002 a área foi conduzida com a cultura da soja e após a colheita foi semeada aveia preta (*Avena strigosa*, var. Comum).

Para maior confiabilidade dos dados obtidos, a análise espacial dos dados foi realizada através da aplicação da geoestatística por intermédio do software GS+ (GS+, 2000), que utiliza os valores da variável em estudo, com suas respectivas coordenadas de campo para a construção de semivariograma. A interpolação dos valores de resistência à penetração, densidade, teor de água e valores de fertilidade do solo foi calculada através da técnica geoestatística da krigagem..

Primeiramente foram analisados a normalidade da distribuição de freqüência dos dados, juntamente com uma análise dos valores de assimetria e curtose.

Devido a grande variabilidade dos valores apresentados na determinação da resistência mecânica do solo à penetração, foram analisados os valores discrepantes e suas respectivas localizações. Foi definido que um dado de resistência mecânica do solo à penetração poderia ser discrepante quando os valores registrados pelo critério de definição “outliers”, for superior a média ($\pm 2\sigma$), devido a influências no solo causadas por pedras, tocos de madeira, etc.

A análise da estrutura e dependência espacial consistiu da construção dos semivariogramas experimentais para cada conjunto de dados das propriedades físicas e químicas dos solo (Isaaks & Srivastava, 1989), utilizando-se o programa GS+. O grau de dependência espacial foi obtido pela relação entre C e (C₀ + C), em que C representa a variância espacial e (C₀ + C), o total dos dados (SOUZA et al., 1999). Essa relação considera

que quanto maior for o coeficiente maior será a variabilidade espacial. Sendo adotado o seguinte critério: fraco (% C1 menor que 25 %), moderado (% C1 de 25 a 75 %) e forte (% C1 maior que 75 %). Os limites foram estabelecidos por Trangmar et al. (1985), e adaptados por Zimback (2001).

Os mapas referentes aos atributos físicos e químicos do solo foram obtidos através do programa Surfer 8.0, utilizado como recurso para a representação espacial da variabilidade na forma de diagrama tridimensional, acompanhado dos mapas de contornos ou de isolinhas. Para a geração dos mapas foi utilizada uma classificação de cores padrão para melhor visualização e identificação das interferências ocorridas ao longo das amostragens dos atributos físicos e químicos do solo, sendo apresentados nos Quadros 3, 4 e 5. A partir disto, também foi utilizada a estatística convencional para a comparação das diferenças entre os diferentes sistemas de manejo, através da análise de variância em experimento inteiramente casualizados com quatro tratamentos (duas áreas de plantio direto e duas de plantio convencional) e três repetições (três épocas de coleta de dados), onde as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância.

Os dados referentes à fertilidade do solo do primeiro ano de amostragem serviram de parâmetro inicial para uma posterior consolidação da metodologia, visto que houve uma continuidade das coletas de dados.

Segundo a recomendação de Raij et al. (1997), foi elaborado os mapas de aplicação em taxas variáveis para calcário para os diferentes tipos de manejo. O mapa de recomendação de aplicação de corretivos a taxa variável foi obtido com base na análise de solo e nos mapas krigados utilizando a fórmula:

$$NC = CTC * (V\% \text{ desejada} - V\% \text{ atual}) / PRNT * 10 \quad (1)$$

onde: NC é a necessidade de calcário em t/ha; CTC é a capacidade de troca catiônica em mmolc/dm³; V% é a saturação de bases em %. Para tal, assumiu-se a saturação desejada como V% = 60 e PRNT = 80%.

No Quadro 3 são apresentados a classificação de cores dos atributos físicos do solo em função dos valores e das profundidades estudadas.

QUADRO 3. Classificação de cores dos atributos físicos do solo.

Atributo	Valor	Cor
Índice de Cone (kPa)	0 – 800	Azul
	801 – 1600	Verde
	1601 – 2400	Amarelo
	2401 – 3200	Marrom
	3201 – 4000	Vermelho
	> 4000	Roxo
Teor de Água (%)	05 – 10	Vermelho
	11 – 15	Marrom
	16 – 20	Amarelo
	21 – 25	Verde
	26 – 30	Azul
	31 – 35	Roxo
Densidade (g/cm ³)	1,00 – 1,10	Azul
	1,11 – 1,20	Verde
	1,21 – 1,30	Amarelo
	1,31 – 1,40	Marrom
	1,41 – 1,50	Vermelho
	> 1,51	Roxo
Areia (%)	10 – 15	Roxo
	16 – 20	Vermelho
	21 – 25	Marrom
	26 – 30	Amarelo
	31 – 40	Verde
	> 40	Azul
Argila (%)	20 – 30	Roxo
	31 – 40	Vermelho
	41 – 50	Marrom
	51 – 60	Amarelo
	61 – 70	Verde
	> 70	Azul

No Quadro 4 são apresentados a classificação de cores dos atributos químicos do solo em função dos valores e das profundidades estudadas.

QUADRO 4. Classificação de cores dos atributos químicos do solo.

Atributo	Valor	Cor
pH	3,0 – 3,8	Roxo
	3,9 – 4,6	Vermelho
	4,7 – 5,4	Marrom
	5,5 – 6,2	Amarelo
	6,3 – 7,0	Verde
	> 7,0	Azul
Matéria Orgânica	10 – 15	Roxo
	16 – 20	Vermelho
	21 – 25	Marrom
	26 – 30	Amarelo
	31 – 35	Verde
	> 35	Azul
Fósforo	0 – 10	Roxo
	11 – 20	Vermelho
	21 – 30	Marrom
	31 – 40	Amarelo
	41 – 50	Verde
	> 50	Azul
Potássio	0 – 1,5	Roxo
	1,6 – 2,5	Vermelho
	2,6 – 3,5	Marrom
	3,6 – 4,5	Amarelo
	4,6 – 5,5	Verde
	> 5,5	Azul
Cálcio	0 – 10	Roxo
	11 – 20	Vermelho
	21 – 30	Marrom
	31 – 40	Amarelo
	41 – 50	Verde
	> 50	Azul
Magnésio	0 – 5	Roxo
	6 – 10	Vermelho
	11 – 15	Marrom
	16 – 20	Amarelo
	21 – 25	Verde
	> 25	Azul

No Quadro 5 são apresentados a classificação de cores dos atributos químicos do solo em relação a aplicação em taxa variável nas duas faixas de profundidades.

QUADRO 5. Classificação de cores dos atributos químicos do solo em função da aplicação em taxa variável nas duas faixas de profundidades.

Atributo	Valor	Cor
Calcário (t ha ⁻¹)	0	Roxo
	0 – 1	Vermelho
	1 – 2	Marrom
	2 – 3	Amarelo
	3 – 4	Verde
	> 4	Azul
Fósforo (kg ha ⁻¹)	90	Amarelo
	70	Vermelho
	50	Verde
	30	Azul
Potássio (kg ha ⁻¹)	50	Vermelho
	30	Azul

Para a recomendação de fertilizantes, foram utilizados os valores de P e K e reclassificados para exibir os teores a serem aplicados no solo. Com a classificação deste mapa permitiu-se uma representação mais clara do provável mapa de aplicação. Para tanto, as necessidades de P e K foram calculadas para uma produtividade esperada de 6 a 8 t ha⁻¹ de milho (Raij et al., 1997), como mostra o Quadro 6.

QUADRO 6. Recomendações de adubação para o Estado de São Paulo.

Produtividade	P resina mg/dm ³				K + trocável mmolc/dm ³			
esperada	0 - 6	7 - 15	16 - 40	> 40	0 – 0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	> 3,0
t/ha	P ₂ O ₅ kg/ha				K ₂ O kg/ha			
6 - 8	90	70	50	30	50	50	50	30

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 7 apresenta os resultados da análise estatística descritiva dos dados de atributos físicos do solo para a área descrita como plantio convencional 1.

A estatística descritiva permitiu, juntamente com os valores dos coeficientes de assimetria e curtose, a visualização da normalidade de distribuição dos dados. Os resultados mostraram que os valores de índice de cone apresentaram grande amplitude de variação e que o índice de cone na faixa de profundidade de 20-30cm, o teor de água na faixa de profundidade de 0-10cm, a densidade nas três faixas de profundidades estudadas e os atributos de textura do solo apresentam valores nitidamente discrepantes aos exibidos por uma distribuição normal, indicando uma proximidade para distribuição lognormal, podendo ser confirmada com a transformação destes dados para $\ln(P)$. Já, pela análise dos coeficientes de assimetria e curtose dos demais parâmetros, a distribuição desses dados pôde ser considera

normal, visto que, os valores dos coeficientes de simetria e curtose próximos de zero sugerem uma distribuição normal para os dados (LIBARDI et al., 1996).

QUADRO 7. Resultado da análise de estatística descritiva dos parâmetros físicos do solo na área de plantio convencional 1.

Estatística Descritiva						
Atributos	Média	Desvio	Valor	Valor	Coeficiente	Coeficiente
		Padrão	Mínimo	Máximo	Assimetria	de Curtose
IC 0-10cm	541,45	204,54	392,53	964,30	0,17	-0,63
IC 10-20cm	928,76	268,53	392,40	1406,60	-0,06	-0,79
IC 20-30cm	1084,31	186,09	819,80	1443,20	0,00	-1,08
IC 30-40cm	843,93	103,13	671,20	1034,20	0,07	-0,86
IC >40cm	640,93	127,62	292,00	917,00	-0,26	0,57
U 0-10cm	19,57	2,02	13,79	22,93	-1,26	2,04
U 10-20cm	23,66	2,44	18,40	27,80	-0,25	0,05
U 20-30cm	27,22	3,03	21,35	34,28	0,14	0,49
D 0-10cm	1,05	0,031	1,01	1,14	0,78	0,91
D 10-20cm	1,17	0,037	1,12	1,28	1,37	2,62
D 20-30cm	1,31	0,05	1,21	1,45	0,51	0,84
Areia 0-20cm	15,67	1,82	13,00	20,00	0,47	-0,45
Areia 20-40cm	13,89	1,94	9,00	17,00	-0,59	0,36
Argila 0-20cm	76,78	3,10	72,00	81,00	-0,01	-1,17
Argila 20-40cm	79,39	2,57	74,00	84,00	-0,32	-0,73

IC = Índice de Cone (kPa) - U = Teor de Água (%) – D = Densidade (g/cm³)

O Quadro 8 apresenta os resultados da análise estatística descritiva dos dados de atributos químicos do solo para a área descrita como plantio convencional 1.

QUADRO 8. Resultado da análise de estatística descritiva dos parâmetros químicos do solo na área de plantio convencional 1.

Atributos	Estatística					
	Média	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo	Coefficiente Assimetria	Curtose
pH 0-20cm	4,76	0,22	4,40	5,20	0,21	-0,73
pH 20-40cm	4,77	0,19	4,40	5,10	0,03	-0,72
M.O 0-20cm	27,61	2,70	22,00	32,00	-0,55	-0,39
M.O 20-40cm	21,00	3,99	14,00	28,00	-0,03	-0,74
P 0-20cm	12,44	2,62	7,00	18,00	0,19	0,16
P 20-40cm	6,11	3,58	3,00	16,00	0,42	-0,88
K 0-20cm	4,67	0,82	2,90	6,10	-0,22	-0,49
K 20-40cm	2,55	1,06	1,00	4,50	0,35	-0,65
Ca 0-20cm	22,33	4,86	14,00	31,00	-0,07	-0,90
Ca 20-40cm	19,28	4,04	14,00	29,00	0,60	-0,30
Mg 0-20cm	10,33	2,40	7,00	16,00	0,26	-0,19
Mg 20-40cm	8,61	2,37	6,00	14,00	0,77	-0,19

Analisando os coeficientes de assimetria e curtose do Quadro 8, verifica-se que os valores de pH nas duas faixas de profundidades, fósforo na faixa de profundidade de 20-40cm e cálcio na faixa de profundidade de 20-40cm, indicam uma proximidade de distribuição lognormal, apresentando valores superiores aos demais atributos.

O Quadro 9 apresenta os resultados da análise estatística descritiva dos dados de atributos físicos do solo para a área descrita como plantio convencional 2.

Analizando os dados referente aos parâmetros físicos do solo para a área descrita como convencional 2 (Quadro 9) verificou-se que, para a densidade nas faixas de profundidades de 10-20cm e 20-30cm, valores nitidamente discrepantes aos demais parâmetros encontrados por uma distribuição normal, ocorrendo assim, uma proximidade para a distribuição para lognormal.

QUADRO 9. Resultado da análise de estatística descritiva dos parâmetros físicos do solo na área de plantio convencional 2.

Estatística Descritiva						
Atributos	Média	Desvio Pad	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
IC 0-10cm	1013,43	335,55	457,20	1666,5	-0,11	-0,70
IC 10-20cm	1883,02	361,57	1246,0	2596,5	-0,14	-0,84
IC 20-30cm	1307,43	369,80	680,30	2379,10	0,26	0,13
IC 30-40cm	892,98	240,33	465,90	1717,50	0,25	0,82
IC >40cm	778,19	164,61	433,50	1145,80	-0,18	0,22
U 0-10cm	10,76	1,74	8,35	13,74	0,12	-1,29
U 10-20cm	11,37	1,58	9,24	13,91	0,13	-1,45
U 20-30cm	11,98	1,38	9,88	14,04	-0,04	-1,25
D 0-10cm	1,12	0,05	1,00	1,23	-0,13	0,72
D 10-20cm	1,21	0,057	1,12	1,37	0,87	1,00
D 20-30cm	1,31	0,055	1,24	1,41	0,67	-0,83
Areia 0-20cm	48,61	10,67	35,00	67,00	0,02	-1,23
Areia 20-40cm	45,61	10,85	32,00	67,00	-0,01	-1,14
Argila 0-20cm	46,50	10,01	31,00	59,00	-0,11	-1,53
Argila 20-40cm	50,00	9,77	33,00	65,00	-0,05	-1,27

IC = Índice de Cone (kPa) - U = Teor de Água (%) – D = Densidade (g/cm³)

O Quadro 10 apresenta os resultados da análise estatística descritiva dos dados de atributos químicos do solo para a área descrita como plantio convencional 2.

Segundo Libardi et al. (1996), os valores de simetria e curtose próximos de zero sugerem uma distribuição normal para os dados. No Quadro 10, para Potássio na faixa de profundidade de 20-40cm, foram obtidos valores nulos indicando assim uma distribuição normal destes dados. Já, para outros atributos estudados como pH, matéria orgânica e cálcio, apresentaram valores acima dos demais atributos.

QUADRO 10. Resultado da análise de estatística descritiva dos parâmetros químicos do solo na área de plantio convencional 2.

Atributos	Estatística					
	Média	Desvio Pad	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
pH 0-20cm	4,43	0,24	4,00	4,80	0,06	-0,87
pH 20-40cm	4,19	0,26	3,80	4,70	0,40	-0,65
M.O 0-20cm	18,06	2,29	14,00	24,00	0,33	0,47
M.O 20-40cm	14,17	1,82	11,00	19,00	0,41	0,46
P 0-20cm	6,61	1,50	4,00	9,00	-0,06	-0,48
P 20-40cm	2,89	0,96	2,00	5,00	0,31	-1,33
K 0-20cm	2,15	0,54	1,20	3,40	0,05	0,22
K 20-40cm	0,76	0,31	0,40	1,70	0,00	0,00
Ca 0-20cm	10,28	4,51	5,00	20,00	0,41	-0,72
Ca 20-40cm	6,44	3,68	2,00	13,00	0,01	-1,31
Mg 0-20cm	7,28	2,14	3,00	10,00	-0,56	-0,82
Mg 20-40cm	4,94	2,26	2,00	8,00	-0,02	-1,46

O Quadro 11 apresenta os resultados da análise estatística descritiva dos dados de atributos físicos do solo para a área descrita como plantio direto 1.

QUADRO 11. Resultado da análise de estatística descritiva dos parâmetros físicos do solo na área de plantio direto 1.

Estatística Descritiva						
Atributos	Média	Desvio Pad	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
IC 0-10cm	629,08	223,84	345,10	945,60	0,06	-1,66
IC 10-20cm	1109,61	214,22	687,40	1470,50	0,00	-0,38
IC 20-30cm	888,88	157,53	588,10	1138,40	-0,02	-0,88
IC 30-40cm	734,74	114,48	503,00	967,20	0,19	-0,11
IC >40cm	556,55	82,07	394,50	675,00	-0,52	-0,80
U 0-10cm	18,40	1,24	15,11	19,73	-1,18	1,01
U 10-20cm	18,36	1,83	13,90	20,65	-0,81	0,07
U 20-30cm	19,27	1,49	15,44	21,18	-1,02	0,76
D 0-10cm	1,24	0,05	1,16	1,36	0,39	-0,39
D 10-20cm	0,28	0,048	0,19	0,37	-0,05	-0,20
D 20-30cm	1,43	0,07	1,32	1,58	0,82	0,26
Areia 0-20cm	18,53	4,54	13,00	35,00	2,08	5,98
Areia 20-40cm	17,12	3,06	13,00	28,00	1,99	5,75
Argila 0-20cm	69,41	5,87	57,00	80,00	-0,47	-0,29
Argila 20-40cm	70,88	4,85	62,00	77,00	-0,21	-1,06

IC = Índice de Cone (kPa) - U = Teor de Água (%) – D = Densidade (g/cm³)

No Quadro 11 verifica-se nitidamente que os valores apresentados para o teor de água e argila são superiores aos exibidos por uma distribuição normal. Já, para areia nas duas profundidades revelam uma distribuição lognormal, confirmada com a transformação destes dados para $\ln(P)$, visto que, os apresentados são superiores a 3.

O Quadro 12 apresenta os resultados da análise estatística descritiva dos dados de atributos químicos do solo para a área descrita como plantio direto 1.

QUADRO 12. Resultado da análise de estatística descritiva dos parâmetros químicos do solo na área de plantio direto 1.

Estatística						
Atributos	Média	Desvio Pad	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
pH 0-20cm	5,75	0,58	4,90	7,00	0,77	-0,05
pH 20-40cm	5,43	0,61	4,90	7,10	1,17	0,63
M.O 0-20cm	22,71	5,32	11,00	31,00	-0,51	-0,30
M.O 20-40cm	22,35	4,59	10,00	31,00	-0,58	1,88
P 0-20cm	34,55	12,56	18,00	56,00	0,13	-1,08
P 20-40cm	32,94	13,29	15,00	57,00	-0,13	-1,21
K 0-20cm	5,00	1,48	2,20	6,60	-0,99	-0,33
K 20-40cm	3,59	2,19	0,80	7,70	0,30	-0,84
Ca 0-20cm	48,59	18,14	20,00	76,00	-0,23	-1,45
Ca 20-40cm	36,59	16,82	18,00	74,00	0,69	-0,54
Mg 0-20cm	28,52	17,22	12,00	63,00	0,66	-0,63
Mg 20-40cm	23,47	19,41	9,00	74,00	1,09	0,18

Os resultados obtidos da estatística descritiva (Quadro 12) mostraram que os valores de Matéria Orgânica, Fósforo, Cálcio e Magnésio apresentaram valores com grande amplitude de variação para as duas profundidades estudadas. Esta grande amplitude de variação para os valores de Fósforo também foi observada por COUTO et al. (2002).

O Quadro 13 apresenta os resultados da análise estatística descritiva dos dados de atributos físicos do solo para a área descrita como plantio direto 2.

QUADRO 13. Resultado da análise de estatística descritiva dos parâmetros físicos do solo na área de plantio direto 2.

Estatística Descritiva						
Atributos	Média	Desvio Pad	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
IC 0-10cm	474,00	164,54	209,90	792,00	-0,09	-0,32
IC 10-20cm	1008,40	169,14	718,00	1289,70	-0,15	-0,81
IC 20-30cm	879,97	165,96	555,90	1251,90	0,08	-0,41
IC 30-40cm	855,04	144,55	443,90	1078,30	-0,72	0,88
IC >40cm	641,75	111,41	381,60	854,60	-0,32	0,00
U 0-10cm	16,44	1,07	14,09	18,24	-0,68	0,96
U 10-20cm	18,16	1,58	14,25	20,40	-1,46	2,15
U 20-30cm	18,76	1,94	14,84	20,45	-1,13	-0,30
D 0-10cm	1,32	0,03	1,29	1,39	1,30	0,80
D 10-20cm	1,37	0,04	1,32	1,45	0,84	-0,51
D 20-30cm	1,43	0,04	1,37	1,51	0,22	-1,07
Areia 0-20cm	17,22	1,80	14,00	22,00	0,62	0,82
Areia 20-40cm	16,56	2,15	13,00	21,00	0,25	-0,63
Argila 0-20cm	75,61	2,43	69,00	79,00	-0,95	1,03
Argila 20-40cm	76,39	2,38	71,00	80,00	-0,45	-0,46

IC = Índice de Cone (kPa) - U = Teor de Água (%) – D = Densidade (g/cm³)

O Quadro 13 mostra que os valores de índice de cone apresentaram grande amplitude de variação. Além disso, os valores de índice de cone na profundidade de 30-40cm, o teor de água e a densidade apresentaram valores nitidamente superiores aos exibidos por uma distribuição normal, indicando uma distribuição lognormal, podendo ser confirmada com a transformação destes dados para $\ln(P)$. Já Souza et al. (1997) observaram que os valores de assimetria e curtose do teor de água no solo apresentaram uma distribuição

normal. Esta mesma tendência pode ser observada para os valores de Fósforo, Cálcio e Magnésio apresentados no Quadro 14.

O Quadro 14 apresenta os resultados da análise estatística descritiva dos dados de atributos químicos do solo para a área descrita como plantio direto 2.

QUADRO 14. Resultado da análise de estatística descritiva dos parâmetros químicos do solo na área de plantio direto 2.

Estatística						
Atributos	Média	Desvio Pad	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
pH 0-20cm	4,69	0,24	4,30	5,10	-0,03	-0,90
pH 20-40cm	4,52	0,23	4,20	5,00	0,19	-0,79
M.O 0-20cm	24,39	1,69	22,00	27,00	-0,11	-1,09
M.O 20-40cm	22,67	1,91	19,00	26,00	-0,39	-0,65
P 0-20cm	16,22	6,79	8,00	35,00	0,58	-0,18
P 20-40cm	10,39	4,13	6,00	18,00	0,75	-0,85
K 0-20cm	4,13	1,44	1,70	6,60	-0,26	-0,73
K 20-40cm	1,47	0,65	0,60	3,20	-0,11	-0,18
Ca 0-20cm	18,94	4,88	11,00	30,00	0,29	-0,23
Ca 20-40cm	17,56	3,40	10,00	21,00	-0,69	-0,68
Mg 0-20cm	9,17	2,38	6,00	14,00	0,09	-1,07
Mg 20-40cm	8,22	2,44	4,00	13,00	-0,14	-0,73

O Quadro 15 apresenta os resultados da análise geoestatística para os atributos de índice de cone, teor de água, densidade areia e argila para a área de plantio convencional 1.

QUADRO 15. Resultados das análises geoestatísticas dos atributos físicos do solo para a área de plantio convencional 1.

Atributos	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	Proporção
IC 0-10cm	Linear	0,96	0,975	800,41m (*)	0,013
IC 10-20cm	Linear	0,978	0,99	650,00m (*)	0,008
IC 20-30cm	Linear	0,925	0,933	980,05m (*)	0,009
IC 30-40cm	Linear	1,00	1,02	750,66m (*)	0,004
IC >40cm	Linear	15,90	16,00	900,00m(*)	0,006
U 0-10cm	Esférico	0,09	3,91	120,00m	0,997
U 10-20cm	Linear	6,02	6,03	400,00m(*)	0,002
U 20-30cm	Esférico	0,01	6,27	90,00m	0,999
D 0-10cm	Esférico	1,43	9,61	120,00m	0,985
D 10-20cm	Esférico	3,13	9,87	125,00m	0,997
D 20-30cm	Esférico	1,701	1,073	170,00m	0,985
Areia 0-20cm	Exponencial	0,007	0,996	360,00m	0,999
Areia 20-40cm	Esférico	0,01	3,76	125,00m	0,997
Argila 0-20cm	Linear	9,55	9,70	580,00m(*)	0,015
Argila 20-40cm	Linear	6,35	6,39	480,00m(*)	0,006

(*) – O valor do alcance indicado apresentaram efeito pepita puro para os valores estimados da dependência espacial.

O estudo da variabilidade espacial na área de plantio convencional 1 (Quadro 15) revelou que, os dados de teor de água e densidade expressaram uma dependência espacial bastante consistente, pois abrangeram uma faixa de correlação com distância que variaram de 90 a 400m para o teor de água e de 120 a 170m para a densidade. Para os valores obtidos de índice de cone, verifica-se baixa dependência espacial uma vez que a proporção apresentou valores abaixo de 25 %. A variabilidade do índice de cone obtida, foi diretamente afetada pelo tipo de preparo de solo. Tal explicação pode ser constatada nos trabalhos

desenvolvidos por Manor et al. (1991) e Libardi et al. (1986). Os valores obtidos para areia na faixa de profundidade de 0-20cm, foram obtidos pelo modelo exponencial.

O Quadro 16 apresenta o resultado da análise geoestatística para os atributos químicos do solo para a área de plantio convencional 1.

QUADRO 16. Resultados das análises geoestatísticas dos atributos químicos do solo para a área de plantio convencional 1.

Atributos	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	Proporção
pH 0-20cm	Linear	1,02	1,03	450,00m(*)	0,008
pH 20-40cm	Linear	1,01	1,01	450,00m(*)	0,002
M.O 0-20cm	Esférico	0,01	7,45	150,00m	0,999
M.O 20-40cm	Esférico	0,01	15,27	160,00m	0,999
P 0-20cm	Linear	6,40	6,89	550,00m(*)	0,071
P 20-40cm	Esférico	0,19	6,89	145,00m	1,00
K 0-20cm	Esférico	0,01	0,68	130,00m	0,984
K 20-40cm	Esférico	0,05	1,22	180,00m	0,96
Ca 0-20cm	Linear	23,09	23,21	450,00m(*)	0,005
Ca 20-40cm	Linear	0,037	0,04	500,00m(*)	0,006
Mg 0-20cm	Linear	0,05	0,05	430,00m(*)	0,008
Mg 20-40cm	Linear	0,06	0,063	420,00m(*)	0,017

(*) – O valor do alcance indicado apresentaram efeito pepita puro para os valores estimados da dependência espacial.

Analisando o Quadro 16 verifica-se que, para a matéria orgânica para ambas as faixas de profundidades, o potássio e o fósforo para a faixa de profundidade de 20-40cm expressaram uma grande dependência espacial, obtendo-se um melhor ajuste no modelo esférico. Para os demais atributos estudados observa-se baixa dependência espacial uma vez

que a proporção apresentou valores abaixo de 25 %. Os mesmos ajustes de modelos foram encontrados por Molin et al. (2002).

Os Quadros 17 e 18 apresentam os resultados da análise geoestatística dos atributos físicos e químicos do solo para a área de plantio convencional 2.

QUADRO 17. Resultados das análises geoestatísticas dos atributos físicos do solo para a área de plantio convencional 2.

Atributos	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	Proporção
IC 0-10cm	Exponencial	0,04	0,12	63,00m	0,688
IC 10-20cm	Linear	0,11	0,12	350,00m(*)	0,147
IC 20-30cm	Esférico	27800	131500	29,80m	0,789
IC 30-40cm	Exponencial	0,02	0,07	35,00m	0,769
IC >40cm	Exponencial	0,008	0,052	120,00m	0,839
U 0-10cm	Esférico	0,00001	0,0200	120,00m	1,00
U 10-20cm	Esférico	0,00001	0,0240	135,60m	1,00
U 20-30cm	Esférico	0,01	0,024	130,00m	0,999
D 0-10cm	Esférico	0,00039	1,071	300,00m	1,00
D 10-20cm	Esférico	0,00046	1,047	220,00m	1,00
D 20-30cm	Exponencial	0,00045	0,0001	380,00m	1,00
Areia 0-20cm	Esférico	0,008	0,0459	101,00m	0,826
Areia 20-40cm	Exponencial	0,012	0,567	105,00m	0,787
Argila 0-20cm	Esférico	0,80	105,6	145,00m	0,999
Argila 20-40cm	Exponencial	15,5	91,2	234,00m	0,799

(*) – O valor do alcance indicado apresentaram efeito pepita puro para os valores estimados da dependência espacial.

Analisando os valores do índice de proporção (% C), nos dois Quadros (17 e 18), verifica-se que, de maneira em geral, os atributos físicos do solo apresentaram um nível superior aos valores obtidos para os atributos químicos, embora todos tenham

apresentado um elevado nível de variabilidade. Tais dados também foram obtidos por (Rodrigues, 2002).

QUADRO 18. Resultados das análises geoestatísticas dos atributos químicos do solo para a área de plantio convencional 2.

Atributos	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	Proporção
pH 0-20cm	Linear	1,14	1,14	400,00m(*)	0,002
pH 20-40cm	Linear	1,153	1,154	325,96m(*)	0,002
M.O 0-20cm	Esférico	0,00001	0,0158	176,30m	0,999
M.O 20-40cm	Esférico	0,00005	0,01702	110,00m	0,999
P 0-20cm	Esférico	0,184	2,59	214,20m	0,929
P 20-40cm	Linear	0,0929	0,0940	650,00m(*)	0,011
K 0-20cm	Esférico	0,05	0,314	270,00m	0,841
K 20-40cm	Esférico	0,0008	0,142	150,00m	0,999
Ca 0-20cm	Linear	20,63	20,71	379,69m(*)	0,004
Ca 20-40cm	Linear	0,392	0,421	350,00m(*)	0,048
Mg 0-20cm	Esférico	0,02	4,385	120,00m	0,999
Mg 20-40cm	Esférico	0,01	4,97	140,00m	0,998

(*) – O valor do alcance indicado apresentaram efeito pepita puro para os valores estimados da dependência espacial.

Os Quadros 19 e 20 apresentam os resultados da análise geoestatística dos atributos físico e químico do solo para a área de plantio direto 1.

QUADRO 19. Resultados das análises geoestatísticas dos atributos físicos do solo para a área de plantio direto 1.

Atributos	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	Proporção
IC 0-10cm	Esférico	0,228	0,984	38,00m	0,769
IC 10-20cm	Esférico	0,0021	1,048	70,00m	0,998
IC 20-30cm	Exponencial	0,044	1,026	69,30m	0,958
IC 30-40cm	Esférico	0,236	1,011	55,00m	0,767
IC >40cm	Exponencial	0,155	1,00	50,70m	0,845
U 0-10cm	Esférico	0,001	1,768	280,00m	0,999
U 10-20cm	Esférico	0,001	3,488	200,00m	1,00
U 20-30cm	Esférico	0,003	2,50	125,00m	1,00
D 0-10cm	Exponencial	0,40	1,33	236,00m	0,696
D 10-20cm	Esférico	0,0003	1,005	110,00m	1,00
D 20-30cm	Exponencial	4,24	1,125	136,40m	1,00
Areia 0-20cm	Esférico	0,0001	0,0365	185,00m	0,997
Areia 20-40cm	Esférico	0,00001	0,0228	200,00m	1,00
Argila 0-20cm	Esférico	3,80	33,44	160,00m	0,886
Argila 20-40cm	Esférico	2,10	9,70	146,00m	0,999

Analisando o Quadro 19 observa-se índices de proporção (%C) bastante elevados, o que expressa uma dependência espacial bastante consistente. De maneira geral, dentre os modelos utilizados na elaboração do semivariograma, o que melhor representou os dados foi o modelo esférico. O mesmo modelo foi utilizado por Mello et al. (1999).

No Quadro 20, também observa-se grande dependência espacial, exceto para cálcio que apresentou índice de proporção (%C) abaixo de 25 %, com o melhor ajuste para o modelo linear.

QUADRO 20. Resultados das análises geoestatísticas dos atributos químicos do solo para a área de plantio direto1.

Atributos	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	Proporção
pH 0-20cm	Esférico	0,0065	0,323	128,00m	0,989
pH 20-40cm	Esférico	0,0035	0,0178	667,50m	0,806
M.O 0-20cm	Esférico	0,01	25,58	135,00m	1,00
M.O 20-40cm	Esférico	0,01	20,70	142,90m	1,00
P 0-20cm	Esférico	0,0001	0,141	150,60m	0,999
P 20-40cm	Esférico	0,0069	0,196	169,30m	0,965
K 0-20cm	Esférico	0,027	2,50	138,50m	0,989
K 20-40cm	Esférico	2,01	4,77	71,50m	0,579
Ca 0-20cm	Linear	322,68	323,05	370,00m(*)	0,001
Ca 20-40cm	Linear	0,176	0,176	317,65	0,000
Mg 0-20cm	Esférico	0,0001	0,271	150,00m	1,00
Mg 20-40cm	Esférico	0,028	0,957	851,50m	0,971

(*) – O valor do alcance indicado apresentaram efeito pepita puro para os valores estimados da dependência espacial.

Os Quadros 21 e 22 apresentam os resultados da análise geoestatística dos atributos físico e químico do solo para a área de plantio direto 2.

QUADRO 21. Resultados das análises geoestatísticas dos atributos físicos do solo para a área de plantio direto 2.

Atributos	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	Proporção
IC 0-10cm	Exponencial	0,041	0,124	53,40m	0,669
IC 10-20cm	Linear	0,108	0,133	329,45m(*)	0,192
IC 20-30cm	Exponencial	4260	27020	48,00m	0,84
IC 30-40cm	Exponencial	420	21,66	28,80m	0,989
IC >40cm	Linear	17680	24803,5	336,09m	0,287
U 0-10cm	Esférico	0,47	2,09	390,70m	0,779
U 10-20cm	Esférico	0,61	6,23	452,40m	0,900
U 20-30cm	Exponencial	0,21	4,43	444,90m	0,953
D 0-10cm	Esférico	2,08	9,57	62,00m	0,999
D 10-20cm	Esférico	0,0005	1,03	78,00m	0,999
D 20-30cm	Linear	7,53	1,45	204,13m	0,480
Areia 0-20cm	Linear	0,011	0,011	242,09m(*)	0,000
Areia 20-40cm	Linear	0,016	0,016	300,00m(*)	0,000
Argila 0-20cm	Exponencial	1,51	6,35	62,70m	0,762
Argila 20-40cm	Exponencial	4,59	9,19	303,20m	0,501

(*) – O valor do alcance indicado apresentaram efeito pepita puro para os valores estimados da dependência espacial.

Analisando o Quadro 21 verifica-se de uma maneira em geral que, o modelo exponencial utilizado na elaboração do semivariograma representou melhor os dados de índice de cone. Já, para os atributos estudados como teor de água e densidade, o modelo esférico foi o que melhor se ajustou.

No Quadro 22 verifica-se que para Potássio e Cálcio ocorreu uma grande faixa de correlação, com distâncias que variaram de 78 a 332,60m e 33 a 445,50m, respectivamente. Para os atributos de pH e magnésio não foi verificada dependência espacial.

QUADRO 22. Resultados das análises geoestatísticas dos atributos químicos do solo para a área de plantio direto2.

Atributos	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	Proporção
pH 0-20cm	Linear	0,0567	0,0567	197,25m(*)	0,000
pH 20-40cm	Linear	9,55	9,55	240,00m(*)	0,000
M.O 0-20cm	Esférico	0,001	2,77	85,00m	1,00
M.O 20-40cm	Linear	3,60	4,67	208,87m(*)	0,229
P 0-20cm	Esférico	0,0001	0,123	84,00m	0,999
P 20-40cm	Linear	17,63	17,63	243,00m(*)	0,000
K 0-20cm	Exponencial	1,11	4,96	332,60m	0,776
K 20-40cm	Esférico	0,001	2,40	78,00m	0,999
Ca 0-20cm	Exponencial	18,91	50,43	445,50m	0,625
Ca 20-40cm	Exponencial	1,75	11,85	33,00m	0,852
Mg 0-20cm	Linear	0,0667	0,0667	204,13m(*)	0,000
Mg 20-40cm	Linear	4,10	8,25	220,00m(*)	0,504

(*) – O valor do alcance indicado apresentaram efeito pepita puro para os valores estimados da dependência espacial.

A estrutura da correlação espacial é demonstrada pelos semivariogramas experimentais e ajustada conforme os respectivos modelos para os parâmetros físicos e químicos do solo, apresentados nas Figuras 5 a 18 para os diversos tipos de manejo, sendo apresentados em folha anexo.

Analisando as Figuras de 5 a 8 dos semivariogramas do índice de cone para as quatro áreas em estudo verifica-se que, a área de plantio convencional 1 apresentou efeito pepita puro, indicando ausência de dependência espacial entre os pontos amostrados. Para esta área, tem-se uma distribuição espacial completamente aleatória. O efeito pepita

significa que existe uma descontinuidade entre os valores separados por distância. Entretanto, é possível que o preparo convencional do solo com arados de discos misture a camada superior e aumente a semelhança entre pontos vizinhos.

A área de plantio convencional 2 apresenta dependência espacial dos dados, com melhor ajuste para o modelo exponencial e grau de dependência considerado de moderado a forte, com valores de 0,688 a 0,839.

Na área de plantio direto 1 verifica-se que, para as faixas de profundidades de 0 a 10cm, 10 a 20cm e de 30 a 40cm, apresentaram dependências consideradas forte, com alcance variando de 38 a 70m e melhor ajuste para o modelo esférico.

Na área de plantio direto 2 verifica-se que, para as faixas de profundidades de 0 a 10cm, 20 a 30cm e 30 a 40cm, apresentaram dependência considerada de moderada a forte com melhor ajuste para o modelo exponencial.

Para as áreas de plantio convencional 2 e plantio direto 1 e 2 verifica-se que, houve uma tendência semelhante quanto aos semivariogramas nos diferentes tipos de manejo.

Analisando a Figura 9 dos semivariogramas dos teores de água para os diferentes tipos de manejo, verificou-se que, apresentaram dependência espacial dos dados nas áreas estudadas, com melhor ajuste para o modelo esférico e grau de dependência considerado forte, igual a 0,999.

Na Figura 10 verificou-se que, apresentaram semelhanças entre o plantio convencional e o plantio direto quanto aos semivariogramas, visto que, foram observadas dependência espacial dos dados nas quatro áreas em estudo, com grau de

dependência de moderado a forte. Os modelos que proporcionaram melhor ajustes foram o esférico e o exponencial.

A Figura 11 apresenta os semivariogramas de pH do solo nos diferentes tipos de manejo e nas duas faixas de profundidades estudadas. As duas áreas de plantio convencional e a área de plantio direto 2 apresentaram efeito pepita puro, indicando ausência de dependência espacial. Os valores de alcance indicados para o modelo linear, correspondem a um valor estimado de dependência espacial. Já, para a área de plantio direto 1, verifica-se presença de dependência espacial dos dados, apresentando um grau de dependência considerado forte, de 0,806 a 0,986, sendo que o modelo esférico foi o mais adequado.

Analizando a Figura 12, verificou-se uma semelhança entre as quatro áreas estudadas, apresentando dependência espacial dos dados, com grau de dependência considerado forte, sendo que o modelo esférico o que melhor se ajustou.

Na Figura 13 verificou-se que o atributo fósforo para a área de plantio direto 1, apresenta dependência espacial dos dados, com alcance de 150,60m a 169,30m para as duas faixas de profundidades. O modelo de melhor ajuste foi o esférico, com grau de dependência considerado forte, igual a 0,96. As demais áreas seguiram a mesma tendência, apresentando modelos de melhor ajuste para esférico e linear.

Analizando a Figura 14 verifica-se que, para as quatro áreas estudadas o modelo esférico foi o que melhor se ajustou, apresentando dependência espacial dos dados, com grau de dependência considerado forte para a área de plantio convencional e grau de dependência considerado moderado a forte para as áreas de plantio direto.

Analizando a Figura 15 verifica-se que para calcário, as duas áreas de plantio convencional e a área de plantio direto1 apresentaram a mesma tendência, com melhor

ajuste para o modelo linear e com alcance variando de 317 a 500m. Entretanto, os valores do alcance indicados correspondem a um valor estimado de dependência espacial. Já, a área de plantio direto 2 apresenta dependência espacial dos dados, com melhor ajuste para o modelo exponencial e grau de dependência considerado de moderado a forte, igual a 0,625 e 0,852.

Na Figura 16 verifica-se que, para magnésio as áreas de plantio convencional 1 e plantio direto 2, apresentaram a mesma tendência com melhor ajuste para o modelo linear e grau de dependência considerado fraco. Nas áreas de plantio convencional 2 e plantio direto 1, o modelo esférico foi o que melhor se ajustou, apresentando dependência espacial dos dados e grau de dependência considerado forte.

Analizando a Figura 17 verifica-se que, as duas áreas de plantio convencional apresentaram a mesma tendência, com dependência espacial dos dados e ajuste de modelos em esférico e exponencial. Os valores de alcance foram de 125m a 360m para a área de plantio convencional 1 e de 101m a 105m para a área de plantio convencional 2, nas duas faixas de profundidades e grau de dependência considerado forte. Nas áreas de plantio direto verifica-se que para a área 1, o modelo esférico foi o que melhor se ajustou. Já, a área 2 apresenta valores estimados de dependência espacial variando de 242m a 300m, com grau de dependência considerado fraco.

Na Figura 18 verifica-se que, a porcentagem de argila para a área de plantio convencional 1 foi diferente das demais áreas estudadas, apresentando valores de dependência espacial estimados de 480m a 580m. As demais áreas apresentaram a mesma tendência, com melhores ajustes para os modelos esférico e exponencial, com grau de dependência considerado forte.

O Quadro 23 apresenta a análise de variância dos atributos químicos do solo com aplicação do teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 23. Análise de variância dos atributos químicos do solo ao nível de 5% de probabilidade.

Causas de Variação	G.L.	C.V.	Pr > F
pH 0-20cm	3	6,64	0,0001 *
pH 20-40cm	3	6,72	0,0001 *
M.O. 0-20cm	3	12,48	0,0001 *
M.O. 20-40cm	3	14,88	0,0001 *
P 0-20cm	3	37,92	0,0001 *
P 20-40cm	3	48,33	0,0001 *
K 0-20cm	3	30,78	0,0001 *
K 20-40cm	3	52,01	0,0001 *
Ca 0-20cm	3	31,66	0,0001 *
Ca 20-40cm	3	36,18	0,0001 *
Mg 0-20cm	3	52,61	0,0001 *
Mg 20-40cm	3	64,12	0,0001 *

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

O Quadro 24 apresenta a análise de variância da textura do solo com aplicação do teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 24. Análise de variância da textura do solo ao nível de 5% de probabilidade.

Causas de Variação	G.L.	C.V.	Pr > F
Areia 0-20cm	3	23,72	0,0001 *
Areia 20-40cm	3	25,02	0,0001 *
Argila 0-20cm	3	9,15	0,0001 *
Argila 20-40cm	3	8,30	0,0001 *

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

O Quadro 25 apresenta a análise de variância dos atributos físicos do solo com aplicação do teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 25. Análise de variância dos atributos físicos do solo ao nível de 5% de probabilidade.

Causas de Variação	G.L.	C.V.	Pr > F
Ic 0-10cm	3	52,29	0,0001 *
Ic 10-20cm	3	36,25	0,0001 *
Ic 20-30cm	3	35,69	0,0001 *
Ic 30-40cm	3	36,51	0,0001 *
Ic > 40cm	3	28,60	0,0001 *
Umidade 0-10cm	3	13,22	0,0001 *
Umidade 10-20cm	3	12,57	0,0001 *
Umidade 20-30cm	3	13,21	0,0001 *
Densidade 0-10cm	3	3,30	0,0001 *
Densidade 10-20cm	3	3,92	0,0001 *
Densidade 20-30cm	3	3,94	0,0001 *

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Analisando os Quadros de 23 a 25 dos atributos físicos e químicos do solo com aplicação do Teste F ao nível de 5% de significância, verifica-se que houve diferenças significativas entre todos os atributos analisados.

No Quadro 23 observa-se que o pH e a matéria orgânica são os atributo que menos variam, apresentando coeficientes de variação menores que 10% para pH e de 12 a 14 % para a matéria orgânica respectivamente. Os demais atributos químicos apresentaram coeficiente de variação maior que 30 %, podendo, nesse caso ser considerado como variação alta.

No Quadro 24 observa-se que, a argila apresenta os menores valores de coeficiente de variação para as duas profundidades estudadas.

No Quadro 25 verifica-se que, a densidade apresentou valores de coeficiente de variação baixíssimos, seguido do teor de água. Já, os valores do índice de cone apresentaram coeficiente de variação acima de 30%, com valores altíssimo na camada de 0-10cm. A grande variabilidade dos valores de índice de cone também foram observadas por Silva Junior & Molin (2001).

O Quadro 26 apresenta a aplicação do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade para os atributos químicos do solo.

QUADRO 26. Teste de Tukey dos atributos químicos de solo, ao nível de 5% de probabilidade.

Atributo	Convencional 1	Convencional 2	P. Direto 1	P. Direto 2
pH 0-20cm	4,79 b	4,44 d	5,94 a	4,61 c
pH 20-40cm	4,81 b	4,26 d	5,63 a	4,44 c
M.O. 0-20cm	28,24 a	16,19 c	24,51 b	25,41 b
M.O. 20-40cm	24,11 a	13,35 b	24,18 a	23,72 a
P 0-20cm	13,50 b	6,54 c	36,92 a	15,26 b
P 20-40cm	9,41 b	3,30 c	34,98 a	10,61 b
K 0-20cm	4,09 b	1,43 c	4,68 a	4,22 b
K 20-40cm	2,21 b	0,65 c	3,49 a	1,88 b
Ca 0-20cm	27,52 b	12,63 d	54,26 a	21,98 c
Ca 20-40cm	24,87 b	9,24 d	44,41 a	19,61 c
Mg 0-20cm	11,46 b	7,04 c	29,94 a	9,85 c
Mg 20-40cm	10,28 b	5,22 c	25,25 a	8,33 b

O Quadro 27 apresenta a aplicação do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade para os atributos textural do solo.

QUADRO 27. Teste de Tukey dos atributos textural do solo, ao nível de 5% de probabilidade.

Atributo	Convencional 1	Convencional 2	P. Direto 1	P. Direto 2
Areia 0-20cm	15,67 b	48,61 a	18,53 b	17,22 b
Areia 20-40cm	13,89 b	45,61 a	17,12 b	16,56 b
Argila 0-20cm	76,78 a	46,50 c	69,41 b	75,61 a
Argila 20-40cm	79,39 a	50,00 c	70,88 b	76,39 a

O Quadro 28 apresenta a aplicação do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade para os atributos físicos do solo.

QUADRO 28. Teste de Tukey dos atributos físicos do solo, ao nível de 5% de probabilidade.

Atributo	Convencional 1	Convencional 2	P. Direto 1	P. Direto 2
Ic 0-10cm	513,40 b	677,65 b	1212,73 a	1124,60 a
Ic 10-20cm	1100,60 c	1494,90 b	1818,60 a	1686,10 a
Ic 20-30cm	1046,58 c	1329,68 b	1574,67 a	1667,19 a
Ic 30-40cm	849,03 c	1058,40 b	1291,72 a	1470,56 a
Ic > 40cm	671,49 d	851,74 c	1018,82 b	1167,57 a
U 0-10cm	20,10 a	12,32 b	20,96 a	19,78 a
U 10-20cm	22,68 a	13,64 c	22,21 a	20,74 b
U 20-30cm	25,48 a	14,86 d	23,73 b	21,12 c
Densid. 0-10cm	1,06 d	1,13 c	1,25 b	1,32 a
Densid.10-20cm	1,18 d	1,22 c	1,34 b	1,37 a
Densid.20-30cm	1,32 b	1,32 b	1,43 a	1,44 a

No Quadro 26 verifica-se que no sistema de plantio direto 1, para todos os atributos estudados apresentou as maiores médias. Este fato pode ser explicado, devido a esta área de plantio direto ter permanecido em pousio nos últimos anos. A área de

plantio convencional 2 apresentou os valores mais baixos para todos os atributos químicos. Tal fato pode ser explicado devido a esta área ser manejada ano a ano.

Analisando o Quadro 27 observa-se os maiores valores de teor de areia para a área de plantio convencional 2. Já, o maior valor de teor de argila foi observado na área de plantio convencional 1. Na área de plantio direto 2 também apresenta alta porcentagem de argila.

No Quadro 28 observa-se os maiores valores de índice de cone (kPa) nas áreas de plantio direto, sendo que na área de plantio direto 1, os maiores valores foram nas camadas de 0-20cm. Já, a área de plantio direto 2, os maiores valores foram obtidos nas camadas acima de 20cm. Estes resultados demonstram o efeito acumulado da compactação e a formação do fenômeno conhecido como “pé-de-grade” ou “pé-de-arado” (SILVA Jr. e MOLIN, 2001).

As área de plantio convencional apresentaram os menores valores de índice de cone (kPa). Este fato pode ser explicado devido ao fato das áreas serem manejadas com aração e gradagem pouco antes do início das coletas da dados. Os maiores valores de densidade também foram encontrados nas áreas de plantio direto, tendo a área de plantio direto 2 os maiores valores.

A Figura 19, apresenta os mapas de isolinhas de resistência mecânica à penetração do solo nos diferentes sistemas de manejo (convencional e plantio direto) na profundidade de 0-10 cm. Nas primeiras coletas, observa-se valores menores de índice de cone (kPa) nas áreas de plantio convencional, devido as mesmas terem sido manejadas para a implantação da cultura da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill).

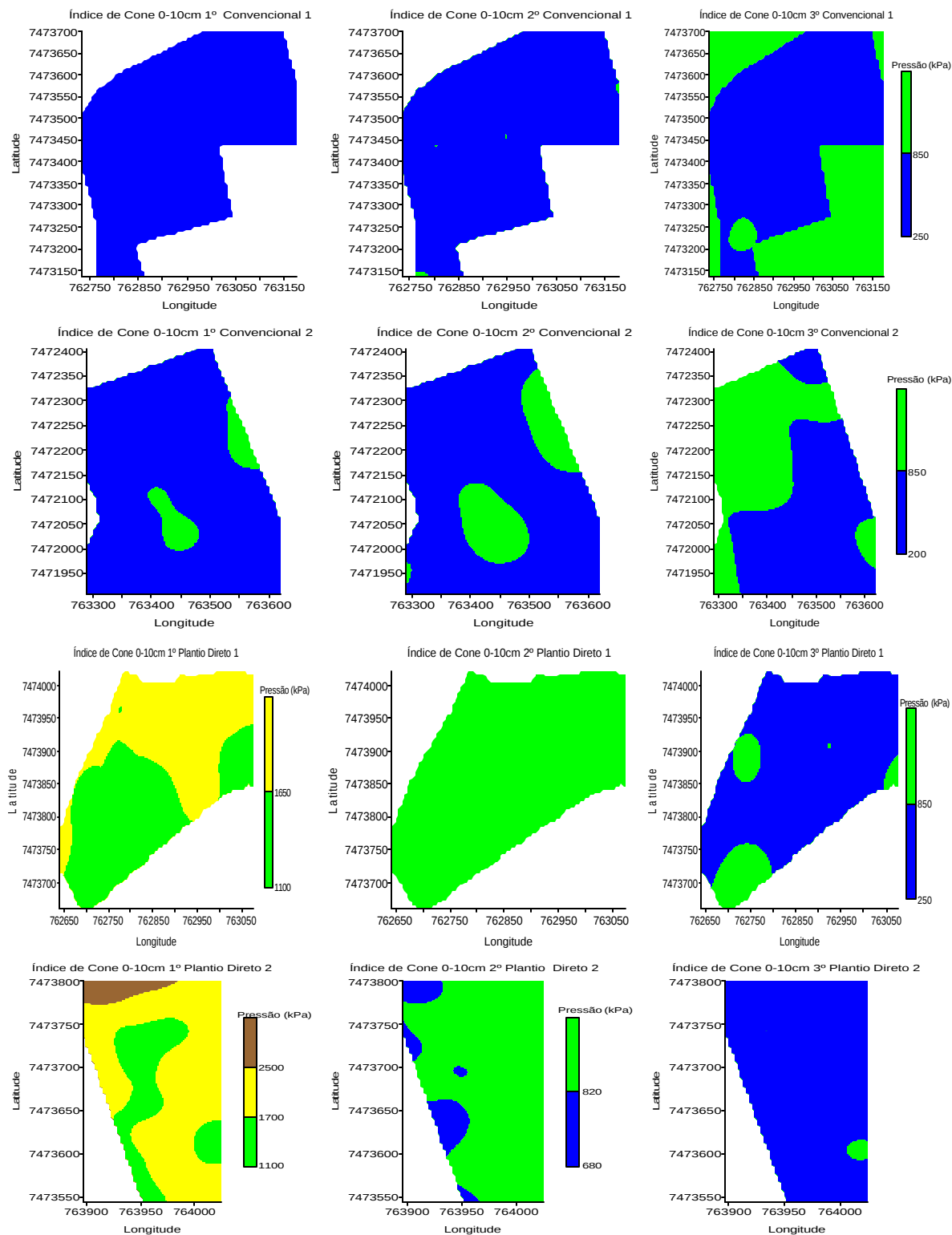


FIGURA 19. Mapas de isocompactação do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-10cm.

Nas áreas de plantio direto (Figura 19), observa-se valores médios de 1647,15 (kPa) para a área de plantio direto 1 e 1934,79 (kPa) para a área de plantio direto 2. Nas coletas seguintes, verifica-se nas duas áreas de plantio convencional um aumento da resistência mecânica à penetração. Para as áreas de plantio direto, ocorreu a diminuição da resistência mecânica à penetração. Esta diminuição dos valores de índice de cone está associado ao aumento do teor de água no solo durante a fase de coleta de dados. Tormena et al. (1998) explicaram que, no sistema de plantio direto, a ausência de revolvimento do solo, aliado ao tráfego de máquinas, promove a compactação excessiva do solo em superfície.

Na Figura 20 são apresentados os mapas de isocompactação do solo nos diferentes tipos de manejo e na profundidade de 10-20cm. Analisando as áreas de plantio convencional, fica evidente a influência de tráfego de máquinas devido ao aumento dos valores de índice de cone (kPa) nas diferentes épocas de coleta. Já, nas áreas de plantio direto a influência do teor de água no solo resultou em uma diminuição dos valores de índice de cone (kPa). Os maiores valores obtidos no sistema de plantio direto 2, deve-se provavelmente ao tipo de manejo e ao maior tráfego de máquinas na área em estudo. Estes resultados demonstram o efeito acumulado da compactação e a formação do fenômeno conhecido como “pé-de-grade” ou “pé-de-arado” (SILVA Jr. & MOLIN, 2001).

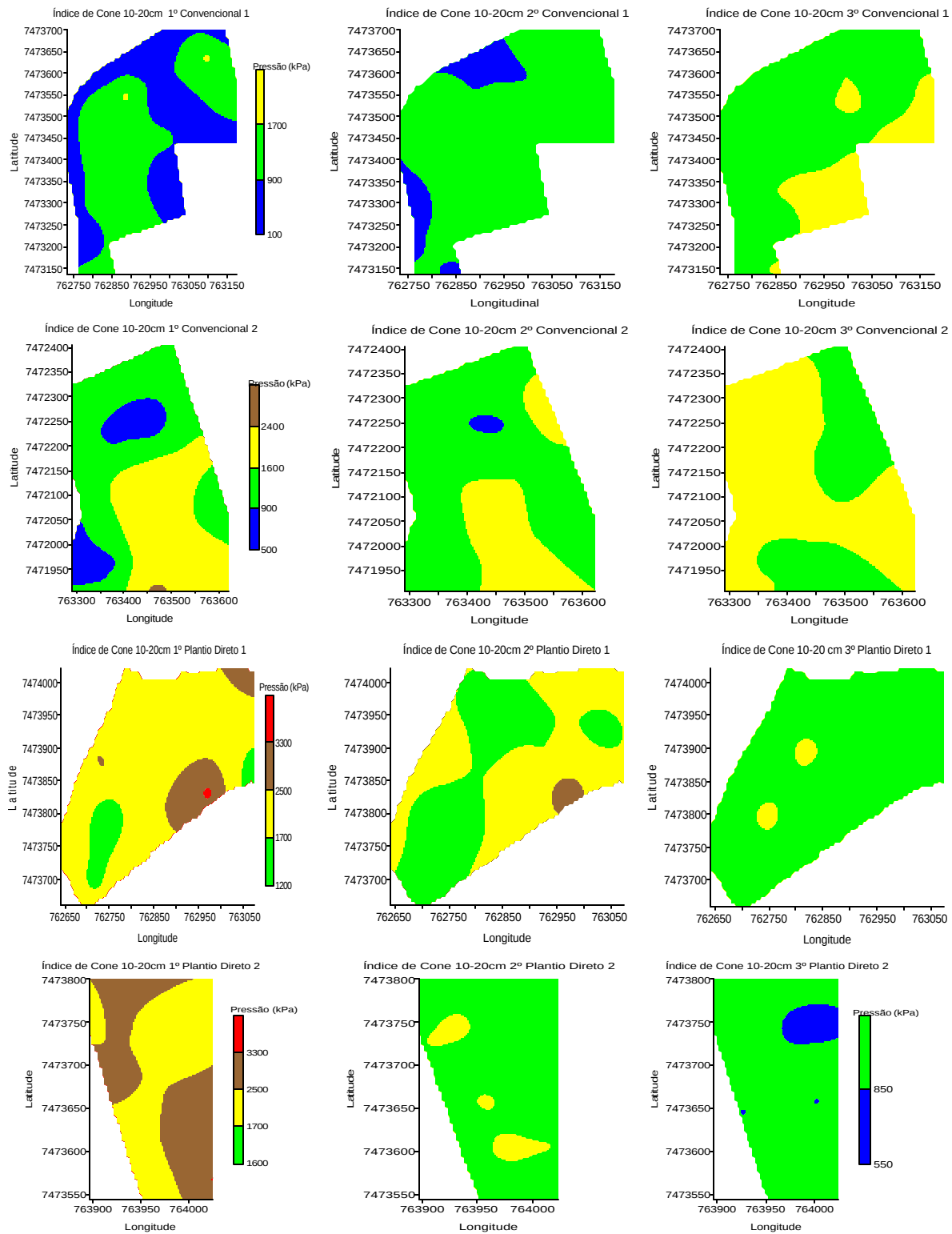


FIGURA 20. Mapas de isocompactação do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 10-20 cm.

A Figura 21 apresenta os mapas de isocompactação nos diferentes tipos de manejo na camada de 20-30cm. Na primeira coleta da área de plantio convencional 1, observa-se valores médios superiores aos encontrados na mesma área na camada de 10-20cm. Para a área de plantio convencional 2, os valores obtidos são semelhantes a camada de 10-20cm. Entretanto, nas coletas seguintes, houve uma diminuição dos valores de índice de cone (kPa) comparando com a camada de 10-20cm. Na área de plantio direto 1, os valores médios obtidos na camada de 20-30cm, são inferiores aos obtidos na camada de 10-20cm, isto vem reforçar a explicação de Tormena et al. (1998), onde os autores citam que, o sistema de plantio direto promove a compactação do solo em superfície. Entretanto, no sistema de plantio direto 2, obteve-se valores semelhantes aos encontrados na camada de 10-20cm.

Analisando o comportamento entre as quatro áreas verificou-se que, o sistema de plantio direto apresentou os maiores valores de índice de cone (kPa).

O efeito da compactação nas diferentes camadas pode ser prevenido através de medidas como por exemplo a restrição do peso das máquinas e aumentando o diâmetro e largura dos pneus (LANÇAS & UPADHYAYA, 1997).

Na Figura 22 são apresentados os mapas de isolinhas de resistência mecânica à penetração do solo na profundidade de 30-40cm nos diferentes tipos de manejo. Observa-se que, o sistema de plantio direto 2 apresentou os maiores valores de índice de cone (kPa) comparando com os demais sistemas. Analisando o comportamento entre as duas áreas de plantio convencional, a área 2 apresentou os maiores valores de índice de cone (kPa) nas amostragens realizadas. Este comportamento deve-se ao fato de um manejo diferenciado destas áreas.

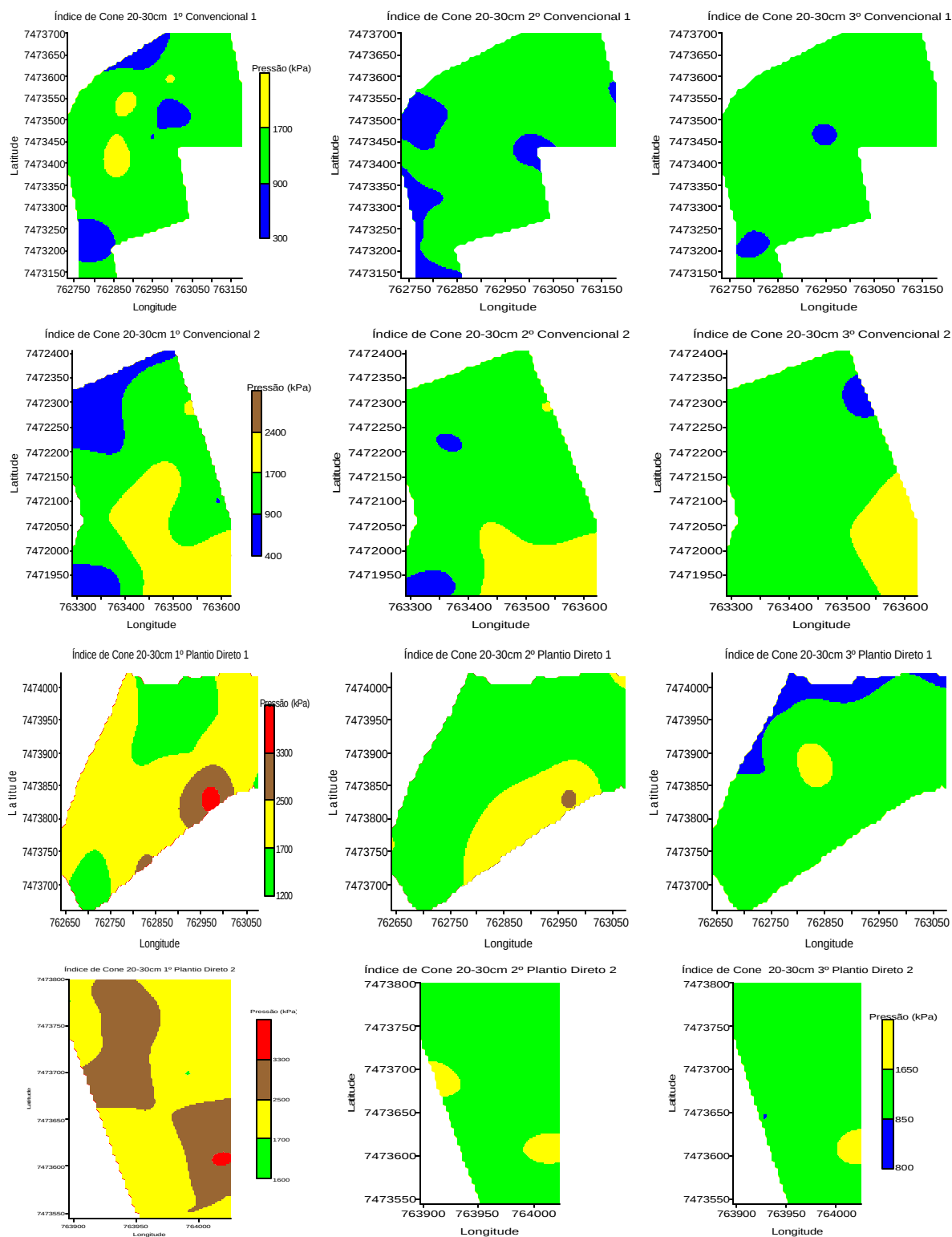


FIGURA 21. Mapas de isocompactação do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-30 cm.

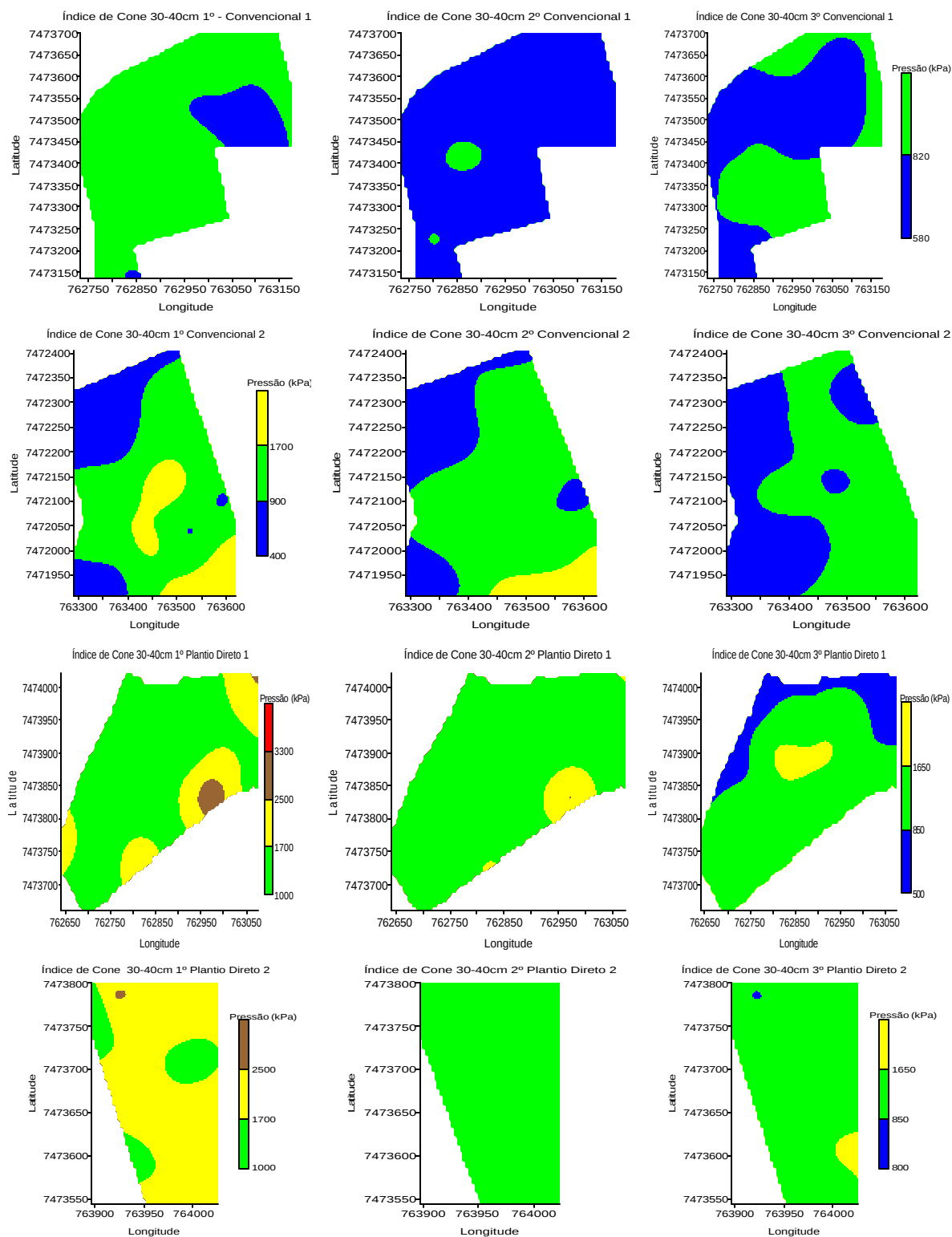


FIGURA 22. Mapas de isocompactação do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 30-40 cm.

A Figura 23 apresenta os mapas de isocompactação do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade maior que 40 cm. Analisando as áreas de plantio convencional, verificou-se que na primeira coleta de dados, obteve-se valores semelhantes de índice de cone (kPa) entre as duas áreas. Nas amostragens seguintes, verificou-se um aumento dos valores de índice de cone (kPa) na área de plantio convencional 2. Este aumento pode ser influenciado devido ao tipo de manejo e ao menor teor de água no solo encontrado. Este efeito de aumento da resistência mecânica do solo à penetração em função do teor de água, também foi observado por (SIQUEIRA et al., 1999).

Segundo Aase & Pikul (1994), com exceção dos primeiros centímetros superficiais, os solos utilizados com plantio direto geralmente apresentam valores de resistência mecânica à penetração e densidade significativamente menores do que aqueles comparados com plantio convencional. Entretanto, os dados obtidos neste estudo foram diferentes devido as áreas de plantio convencional terem sido manejadas para a implantação da cultura da soja (*Glycine Max. (L) Merrill*).

A Figura 24 apresenta os mapas de isoumidade na camada de 0-10 cm. Analisando as quatro áreas verifica-se que, o sistema de plantio direto apresentou os maiores valores de teor de água. Esta influencia deve-se ao fato da maior quantidade de restos culturais na superfície do solo. Os menores valores foram encontrados nas áreas de plantio convencional. Tal fato pode ser explicado devido ao manejo das áreas sofrerem maior ação tanto da evaporação, como da infiltração e escoamento superficial de água no solo. Castro (1989) explica que a maior capacidade de retenção de água, aliada à menor perda de água por erosão e evaporação, faz com que o sistema de plantio direto apresente mais água disponível às plantas do que no sistema convencional.

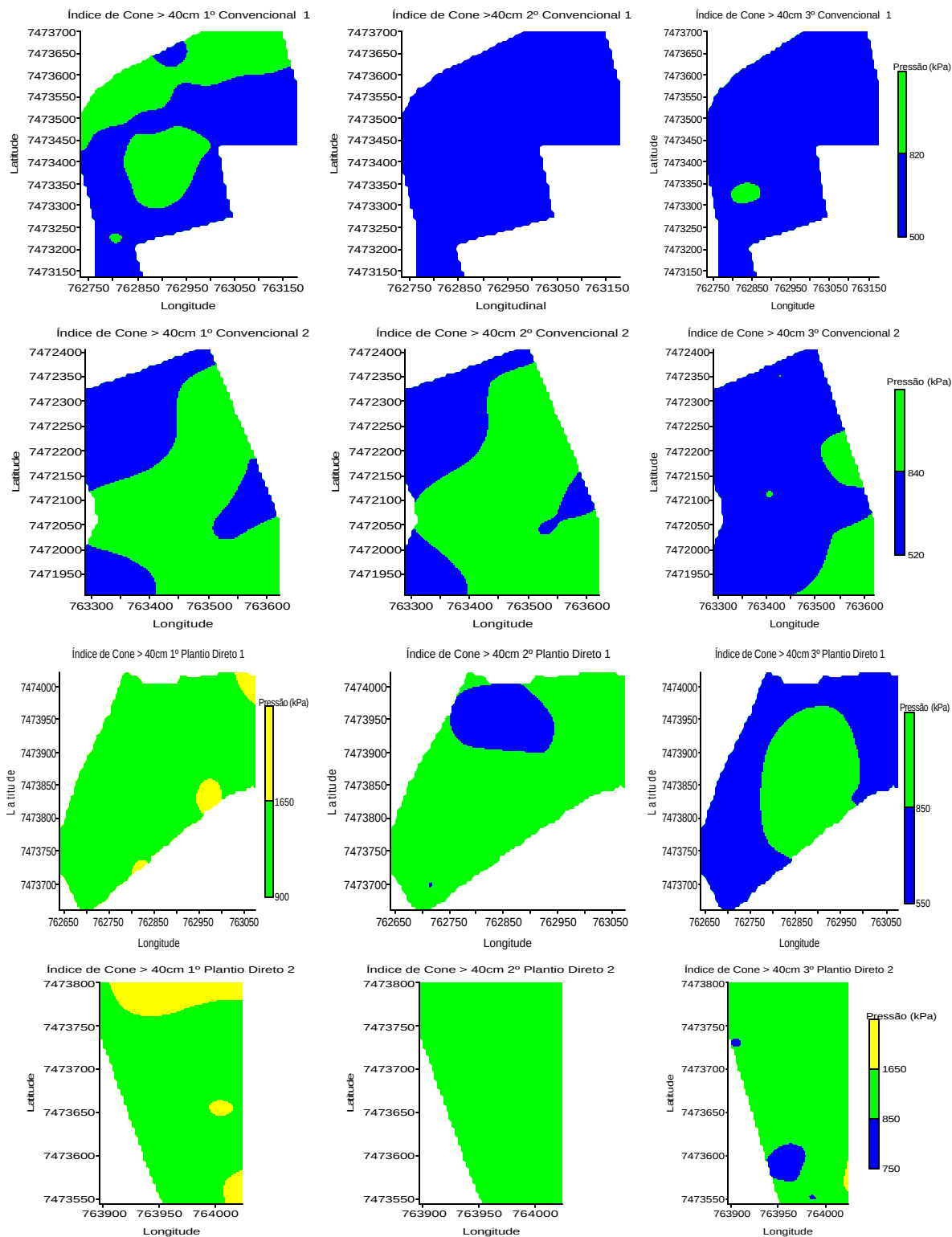


FIGURA 23. Mapas de isocompactação do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade maior que 40 cm.

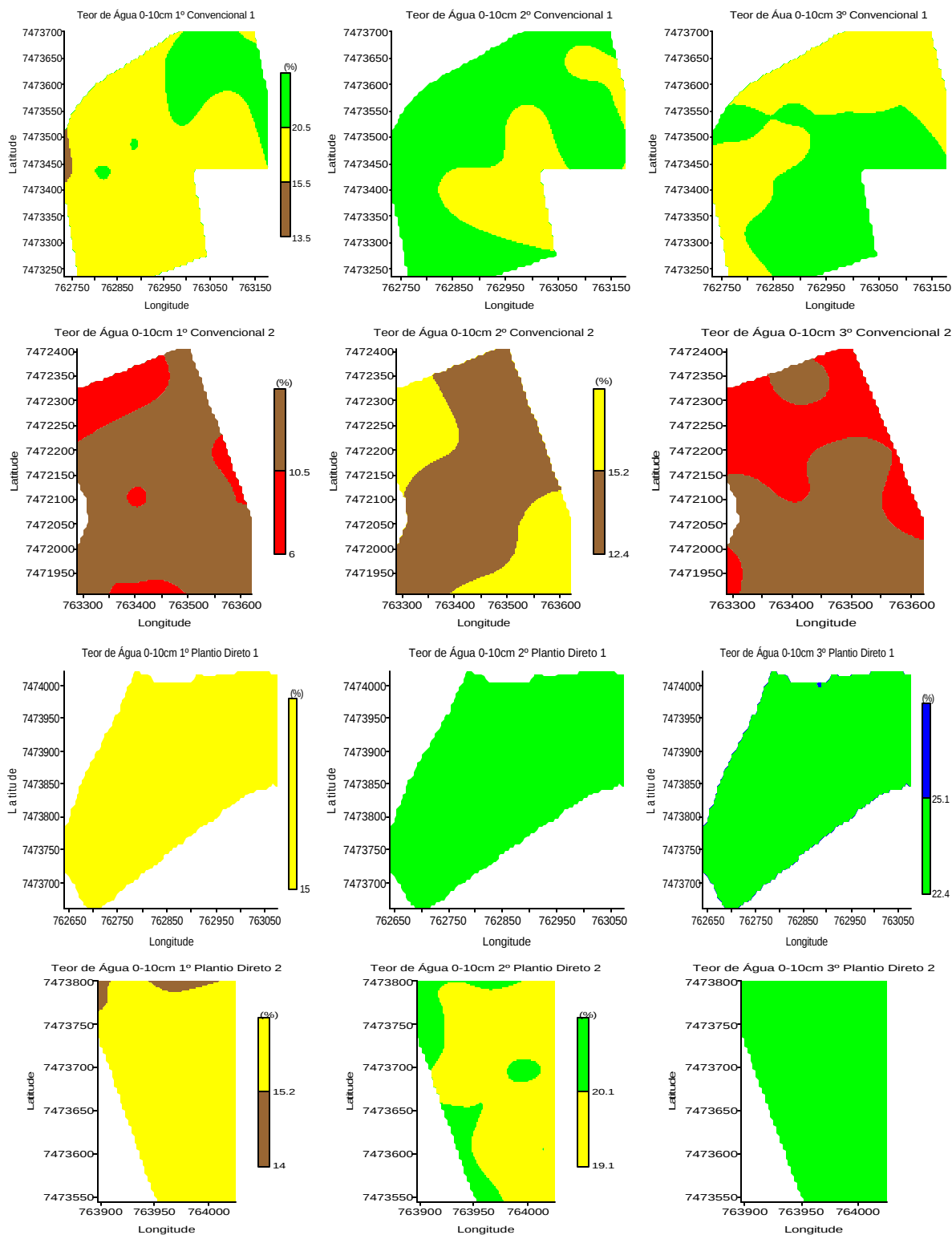


FIGURA 24. Mapas de isoumidade do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-10 cm.

A Figura 25, apresenta os mapas de isoumidade na profundidade de 10-20 cm. Analisando o comportamento das áreas de plantio convencional, verifica-se que a área caracterizada como 2, apresentou os menores valores de teor de água, comparando com a área de plantio convencional 1. Isto explica os maiores valores obtidos de índice de cone (kPa) nesta área. A mesma tendência foi observada no sistema de plantio direto, visto que, a área 2 apresentou os menores valores de teor de água (%).

Na Figura 26, são apresentados os mapas de isoumidade na camada de 20-30 cm. Observou-se que, os quatro sistemas de manejo estudados apresentaram os maiores valores de teor de água quando comparado com os mesmos sistemas nas camadas superiores 0-10 cm e 10-20 cm, respectivamente. Isto se deve ao fato das camadas superiores sofrerem maior ação da evaporação e infiltração de água nos solo.

As Figuras 27, 28 e 29 apresentam os mapas de isodensidade nos diferentes tipos de manejo e em diferentes profundidades.

A Figura 27 apresenta os mapas de isolinhas de densidade nos diferentes sistemas de manejo, na profundidade de 0-10 cm. Observa-se os menores valores de densidade nas áreas de plantio convencional, devido as mesmas terem sido manejadas (aração, gradagem e subsolagem). Nas áreas de plantio direto 2, observa-se os maiores valores de densidade devido provavelmente, ao maior tráfego de máquinas na área em estudo.

A densidade do solo é bastante variável dado a sua dependência da textura, estrutura e grau de compactidade do solo. Entretanto, foram obtidos valores semelhantes aos encontrados por SILVA (1984).

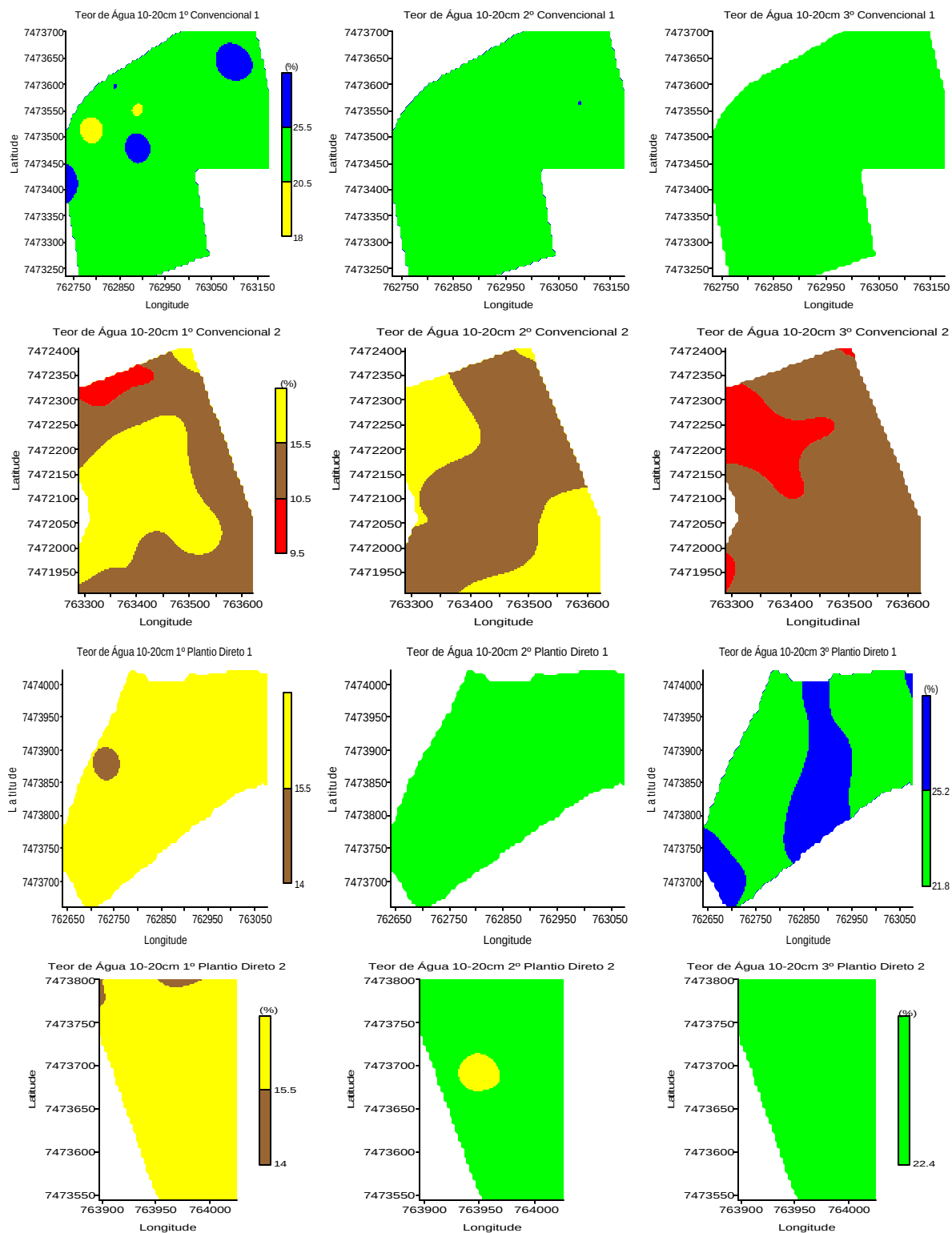


FIGURA 25. Mapas de isoumidade do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 10-20 cm.

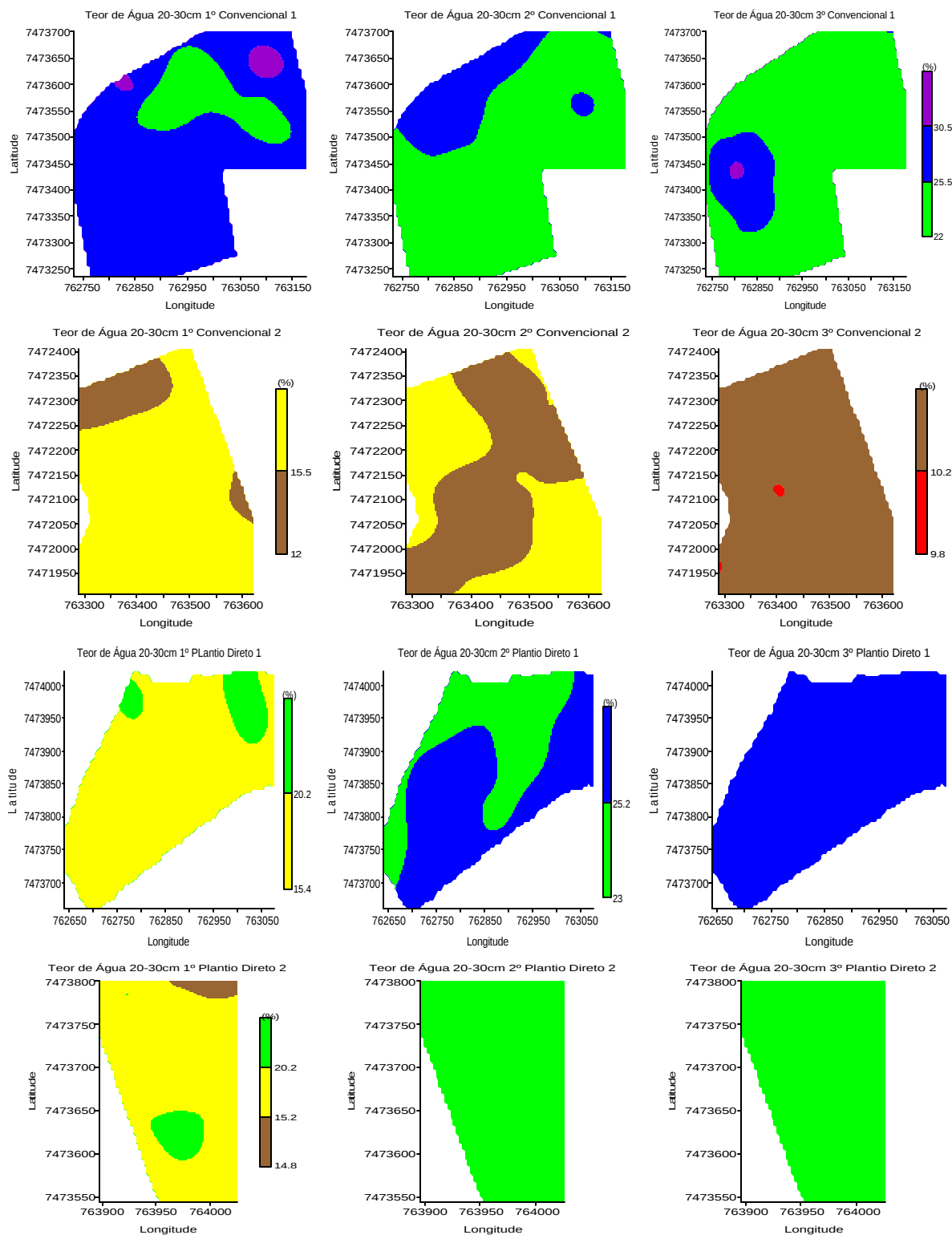


FIGURA 26. Mapas de isoumidade do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-30 cm.

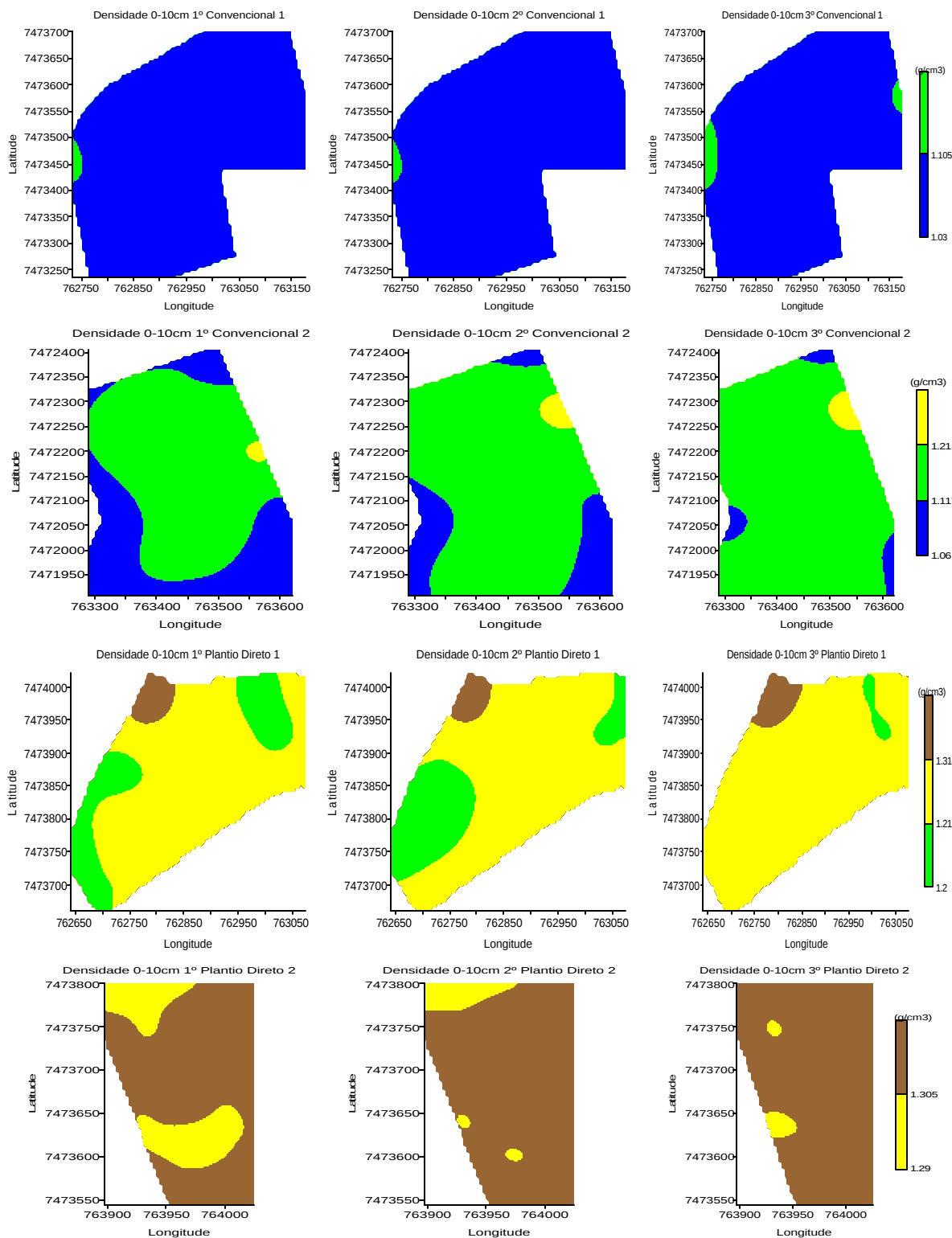


FIGURA 27. Mapas de isodensidade do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-10 cm.

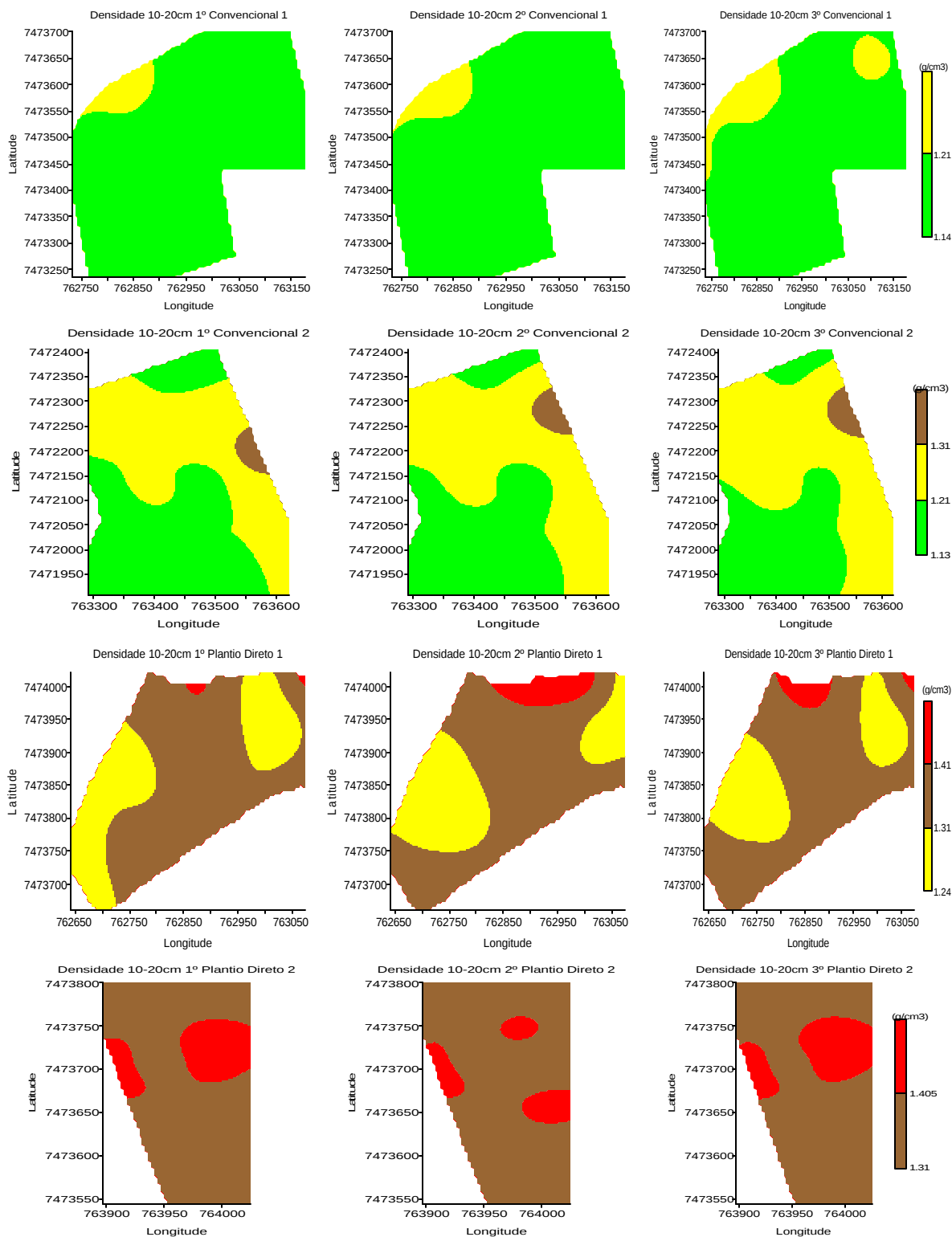


FIGURA 28. Mapas de isodensidade do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 10-20 cm.

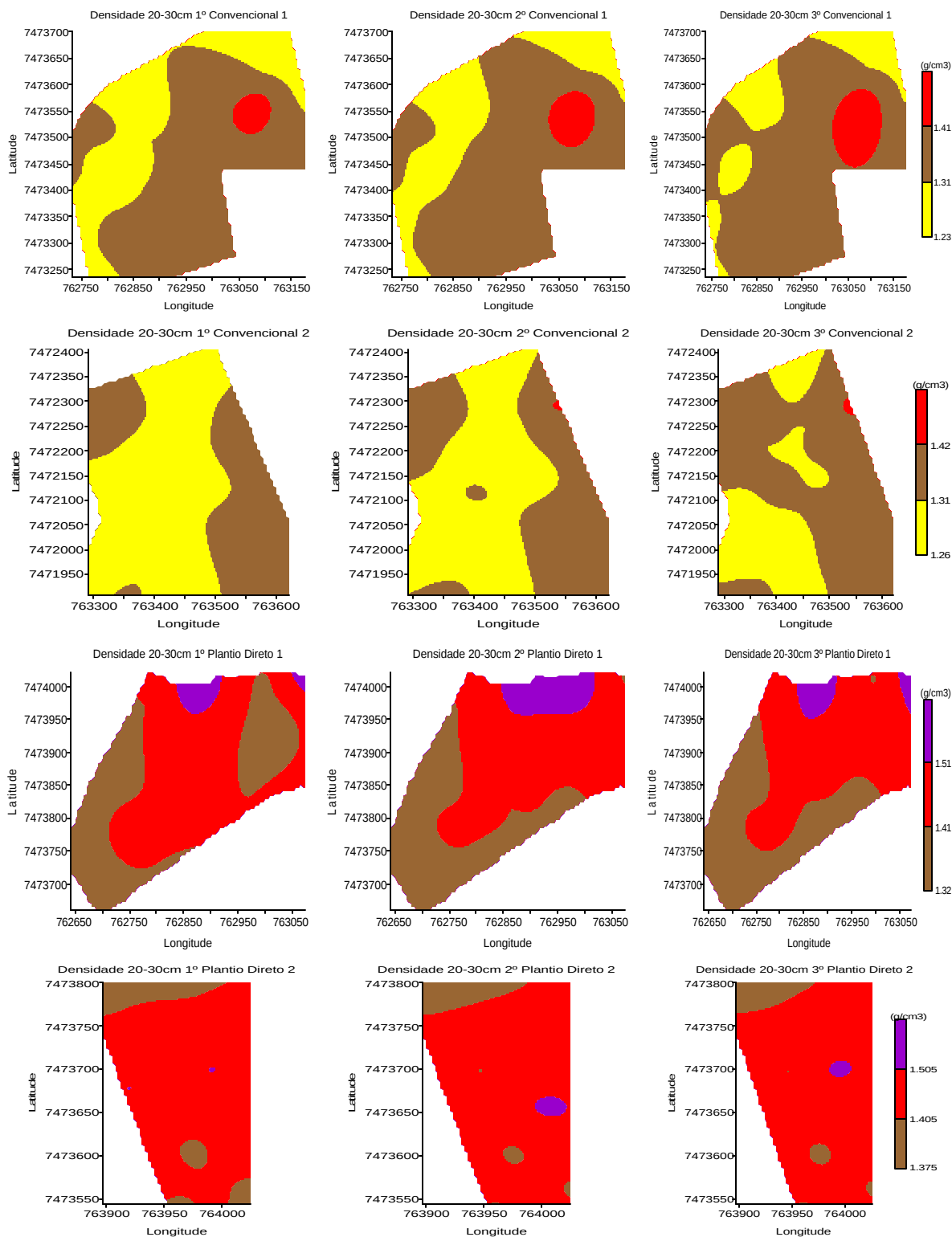


FIGURA 29. Mapas de isodensidade do solo nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-30 cm.

Na Figura 28, são apresentados os mapas de isolinhas de densidade para os diferentes sistemas de manejo na camada de 10-20 cm. Analisando as quatro áreas em estudo, verifica-se as maiores densidades nas áreas de plantio direto. Observa-se ainda que, o sistema de plantio convencional 2 apresentou os maiores valores de densidade do solo, comparando com o sistema convencional 1.

Na profundidade de 20-30cm (Figura 29) verificou-se um aumento da densidade nas camadas inferiores quando comparadas as camadas superficiais. Observou-se ainda que, no plantio convencional, ambas as áreas tiveram pequena variação da densidade entre o menor e o maior valor obtido.

Nas fases de coleta, verifica-se para as quatro áreas de estudo que, a densidade do solo não se alterou durante o período de coleta.

As Figuras 30 e 31 apresentam os mapas de isolinhas de fertilidade do solo (pH), nos diferentes sistemas de manejo e nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm. Analisando o comportamento das quatro áreas em estudo, verifica-se pouca variação dos valores de pH entre as duas profundidades estudadas. Contudo, observa-se que no sistema de plantio direto 1, houve um aumento da fertilidade do solo devido a mesma encontrar-se em pousio. Os resultado obtidos por Siridas & Pavan (1985) mostraram que, no sistema de plantio direto, a tendência de acidificação do solo é inferior ao plantio convencional devido a menor taxa de mineralização de material orgânico acumulado na superfície. Além disto, tanto os valores de plantio convencional 1 e 2 e plantio direto 2, apresentaram o pH baixo. Já, a área de plantio direto 1 apresentou valor de pH alto.

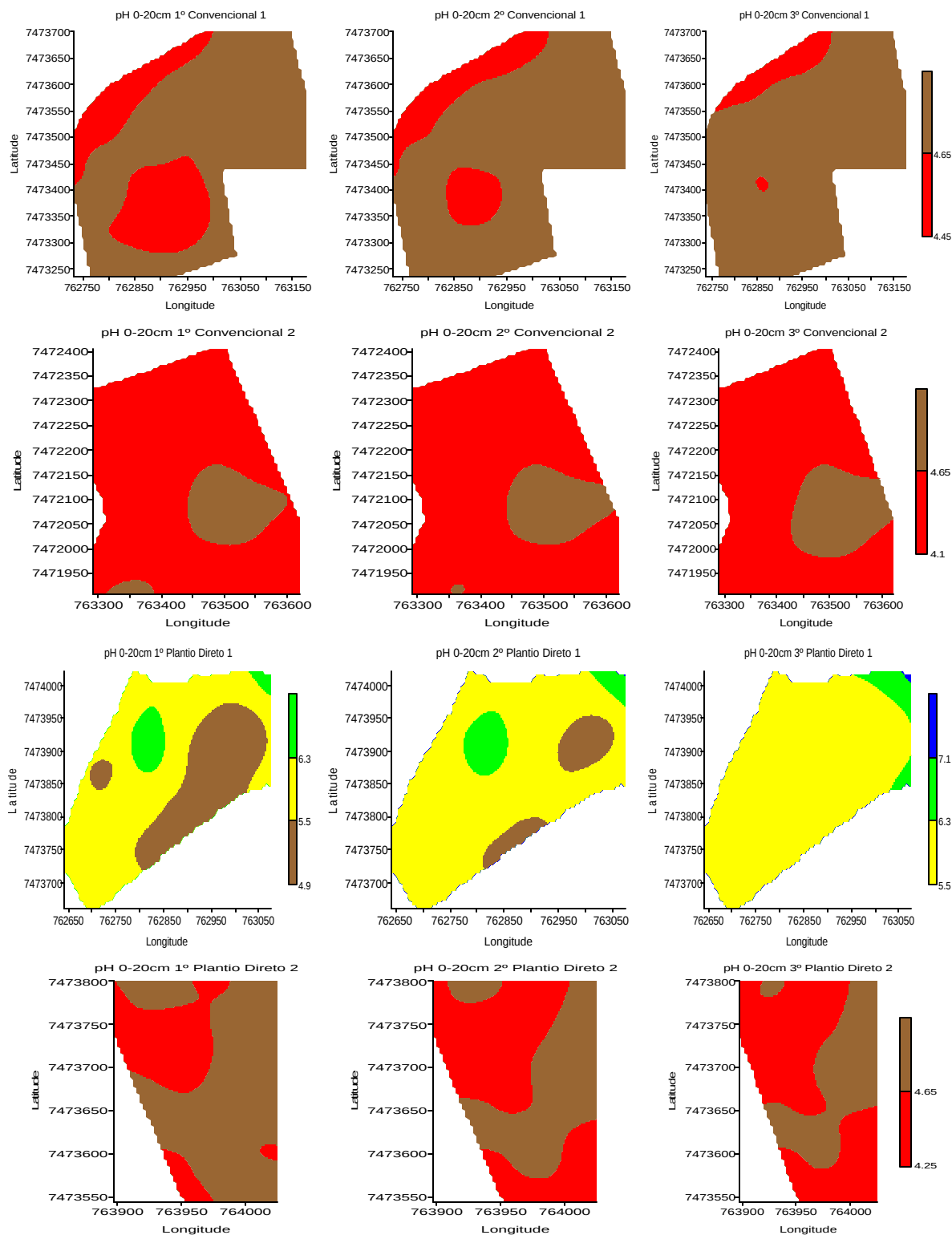


FIGURA 30. Mapas de isofertilidade do solo (pH) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-20 cm.

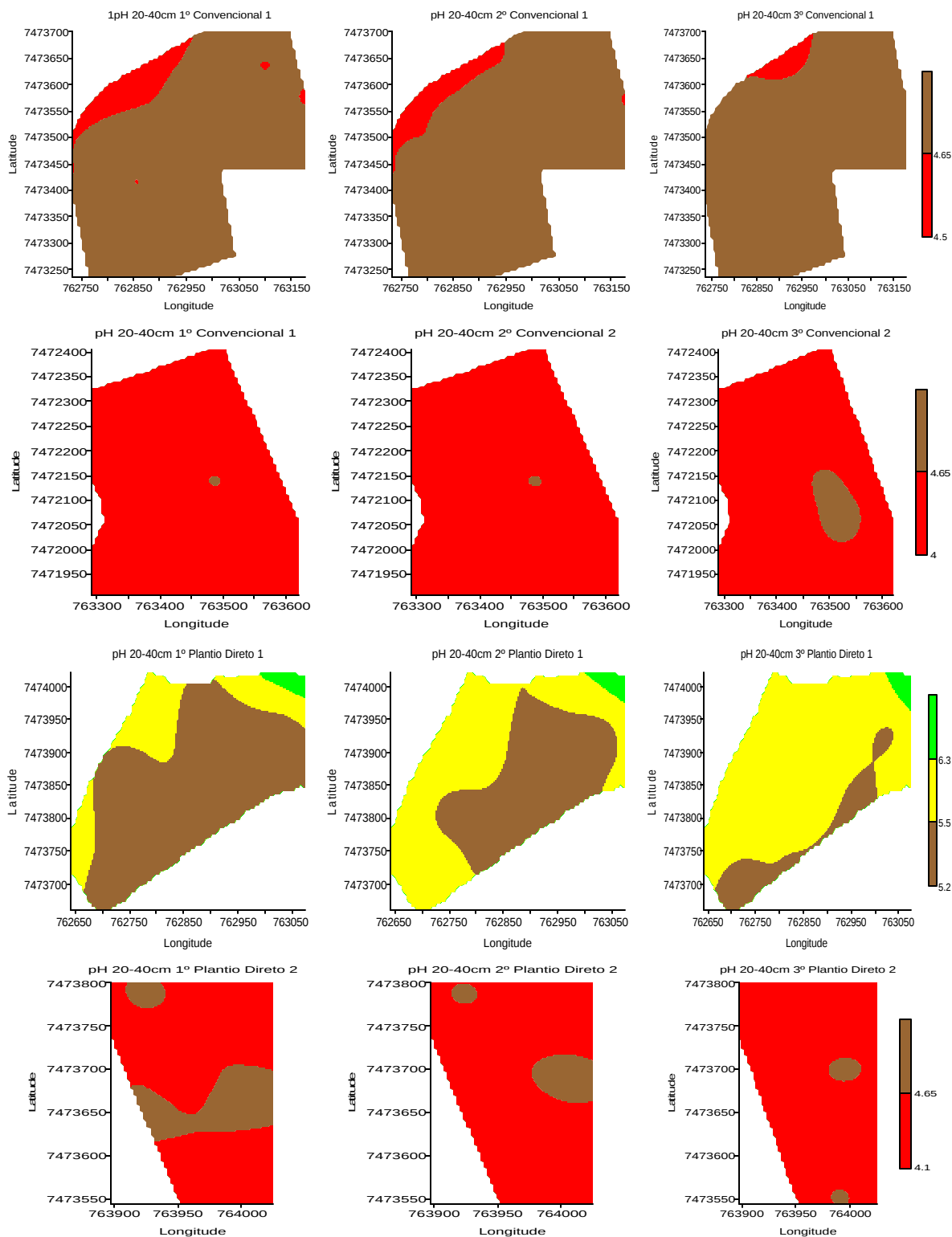


FIGURA 31. Mapas de isofertilidade do solo (pH) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-40 cm.

Observa-se nas Figuras 32 e 33, os mapas de isolinhas de fertilidade do solo (matéria orgânica – M.O), nos diferentes sistemas de manejo e nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. Entre os sistemas de manejo, verifica-se de maneira geral, que o sistema de plantio direto apresenta os maiores valores de matéria orgânica. Este fato pode ser explicado devido ao maior acúmulo de restos culturais na superfície do solo. Observa-se ainda que, a área de plantio convencional 1, houve um aumento do teor de matéria orgânica, devido ao manejo da área estudada. Reicosky (2000) explicou que os cultivos mediante preparo intensivo normalmente causam uma diminuição de C orgânico do solo. Além disto, o plantio direto leva a um aumento de carbono nos primeiros 5-10 cm do perfil do solo, quando comparados com solos submetidos à aração com aivecas, como é o caso da área em estudo.

Nas quatro áreas estudadas, verificou-se ao longo do período de coleta pouca variação do teor de matéria orgânica.

As Figuras 34 e 35 apresentam os mapas de isolinhas de fertilidade do solo (Fósforo), nas camadas de 0-20cm e 20-40cm, respectivamente. Observa-se que o sistema de plantio direto 1, apresenta os maiores valores obtidos de fósforo (P) variando de médio a alto. Tal fato pode ser explicado devido esta área ter permanecido em pousio por vários anos e recentemente ter sido manejada com sistema de plantio direto para a implantação da cultura do milho (*Zea mays* L.).

No sistema de plantio convencional para as duas profundidades estudadas, apresentam valores classificados de muito baixo à baixo. Buchanam & King (1993) explicam que, as perdas de fósforo é mais rápida e elevada no preparo convencional, independentemente da época do ano. Tais resultados confirmam os estudos realizados por Sá (1995).

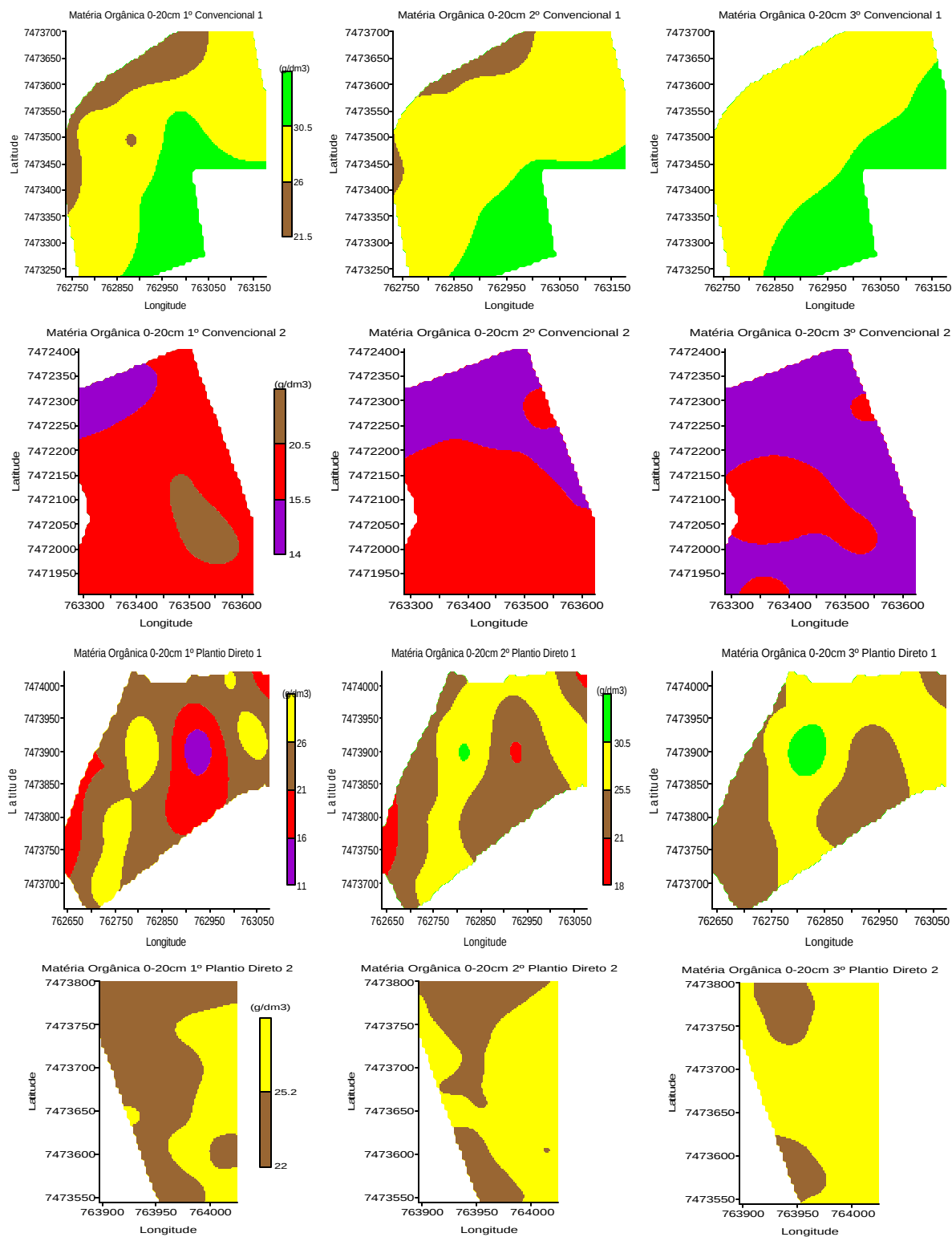


FIGURA 32. Mapas de isofertilidade do solo (Matéria Orgânica) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-20 cm.

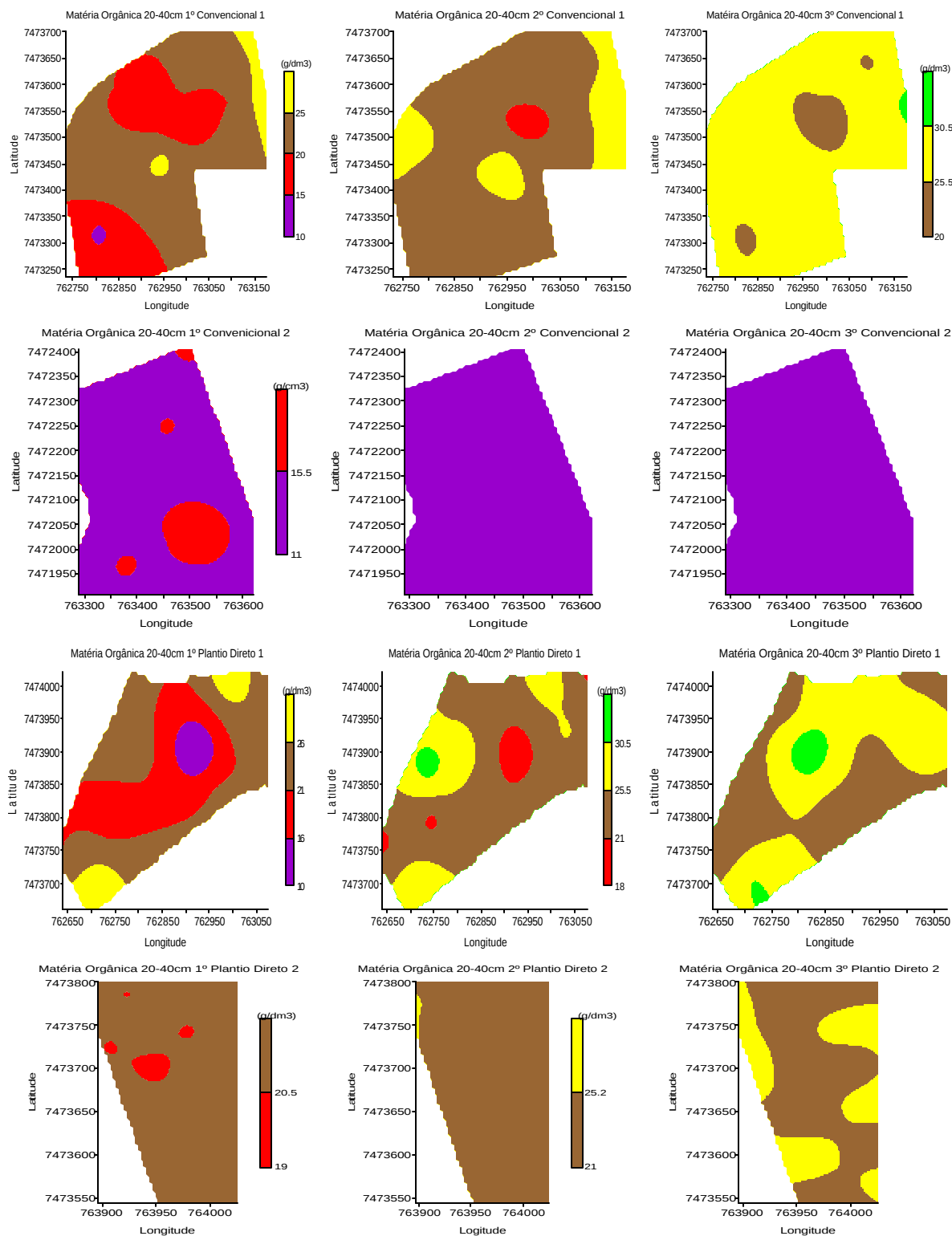


FIGURA 33. Mapas de isofertilidade do solo (Matéria Orgânica) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-40 cm.

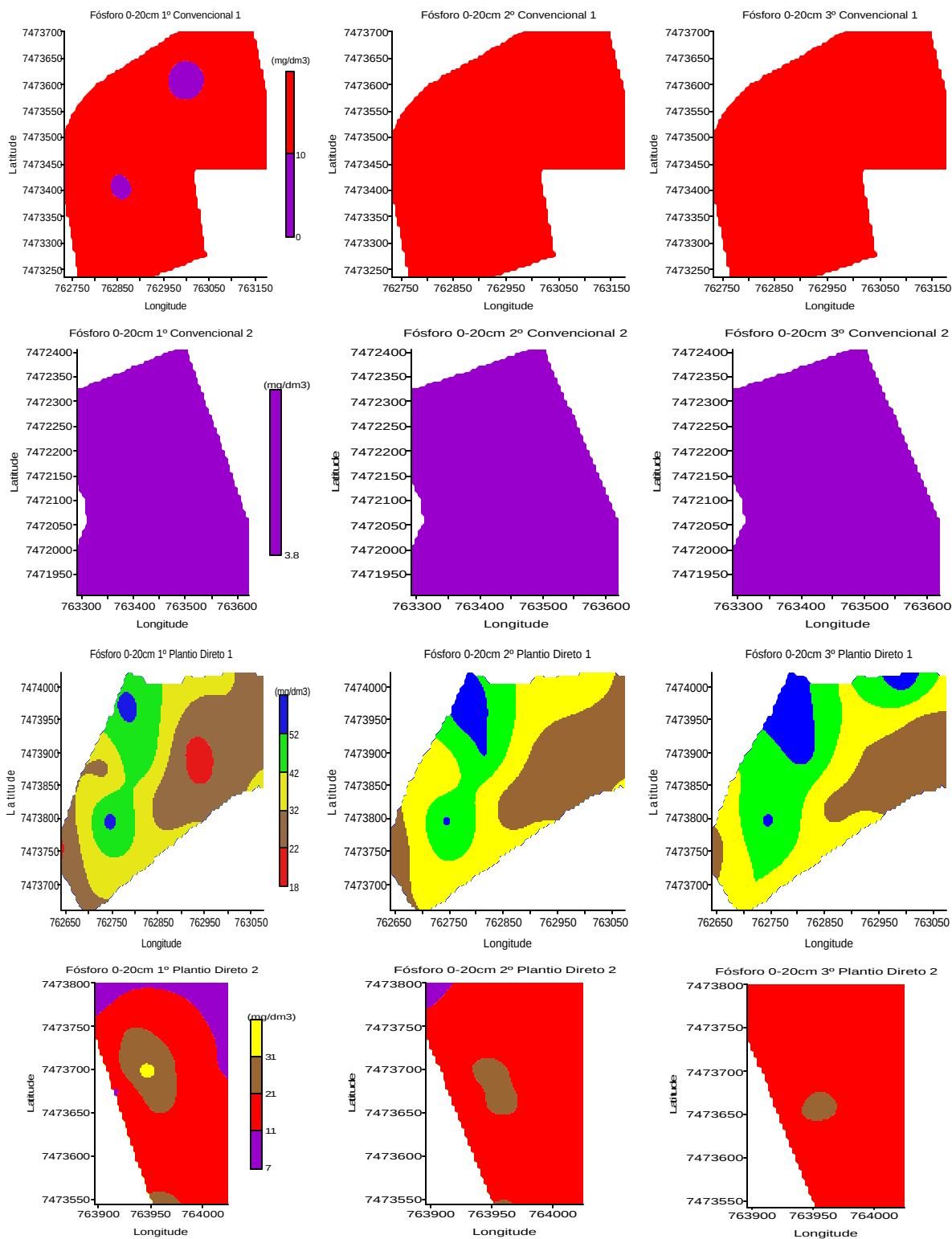


FIGURA 34. Mapas de isofertilidade do solo (Fósforo) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-20 cm.

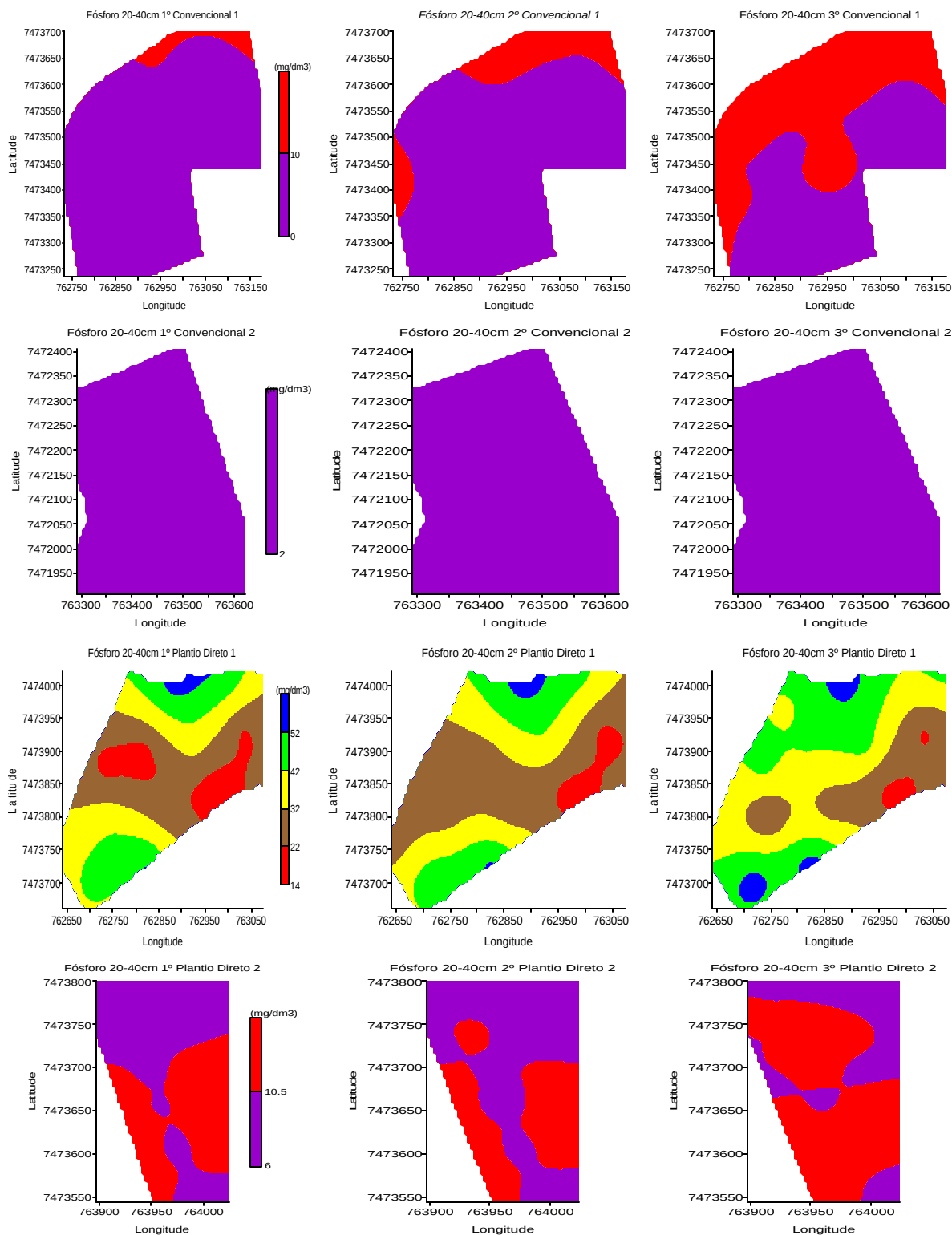


FIGURA 35. Mapas de isofertilidade do solo (Fósforo) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-40 cm.

Nas Figuras 36 e 37, são apresentados os mapas de isolinhas de fertilidade do solo (Potássio – K), nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm. Analisando o comportamento das quatro áreas, verifica-se que o sistema de plantio direto apresentou os maiores valores de potássio. Na profundidade de 0-20 cm, foram obtidos os maiores valores de fósforo para os quatro sistemas de manejo, comparando a profundidade de 20-40 cm. Para a profundidade de 0-20 cm, os valores de potássio (K) apresentaram índices variando de baixo e médio. Já, na profundidade de 20-40 cm obteve-se valores muito baixo de potássio.

As Figuras 38 e 39 apresentam os mapas de isofertilidade do solo (Cálcio) nos diferentes tipos de manejo e nas camadas de 0-20cm e 20-40cm. O sistema de plantio direto 1, apresentou os maiores valores de teor de cálcio nas duas profundidades estudadas, quando comparadas com as demais áreas em estudo. Este aumento pode ser devido a área ter permanecido em pousio por vários anos. As demais áreas, com plantio convencional 1 e 2 e plantio direto 2 apresentaram valores de cálcio semelhantes. Santos et al. (1995), em um experimento conduzido com milho e soja e utilizando os métodos de preparo do solo (plantio direto e convencional), não constatarem diferenças de Cálcio e Magnésio após três anos de cultivo, na profundidade de 0-20cm em ambos os métodos de preparo.

As Figuras 40 e 41 apresentam os mapas de isolinhas de fertilidade do solo (Magnésio – Mg), para os diferentes sistemas de manejo e nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, respectivamente. Observa-se que, nas áreas que estão sendo cultivadas anualmente, obteve-se valores semelhantes de magnésio, como é o caso das duas áreas de plantio convencional e da área 2 de plantio direto.

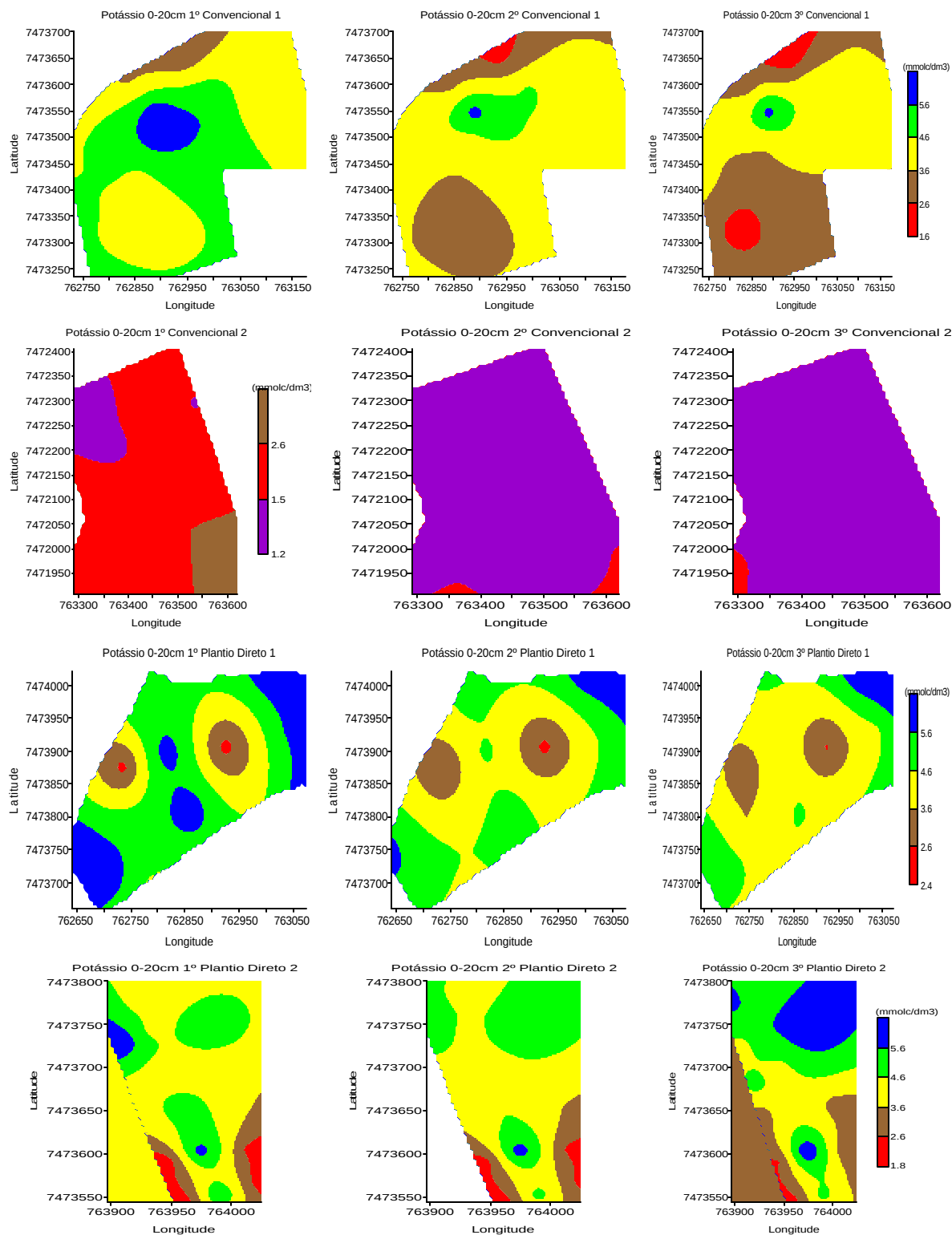


FIGURA 36. Mapas de isofertilidade do solo (Potássio) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-20 cm.

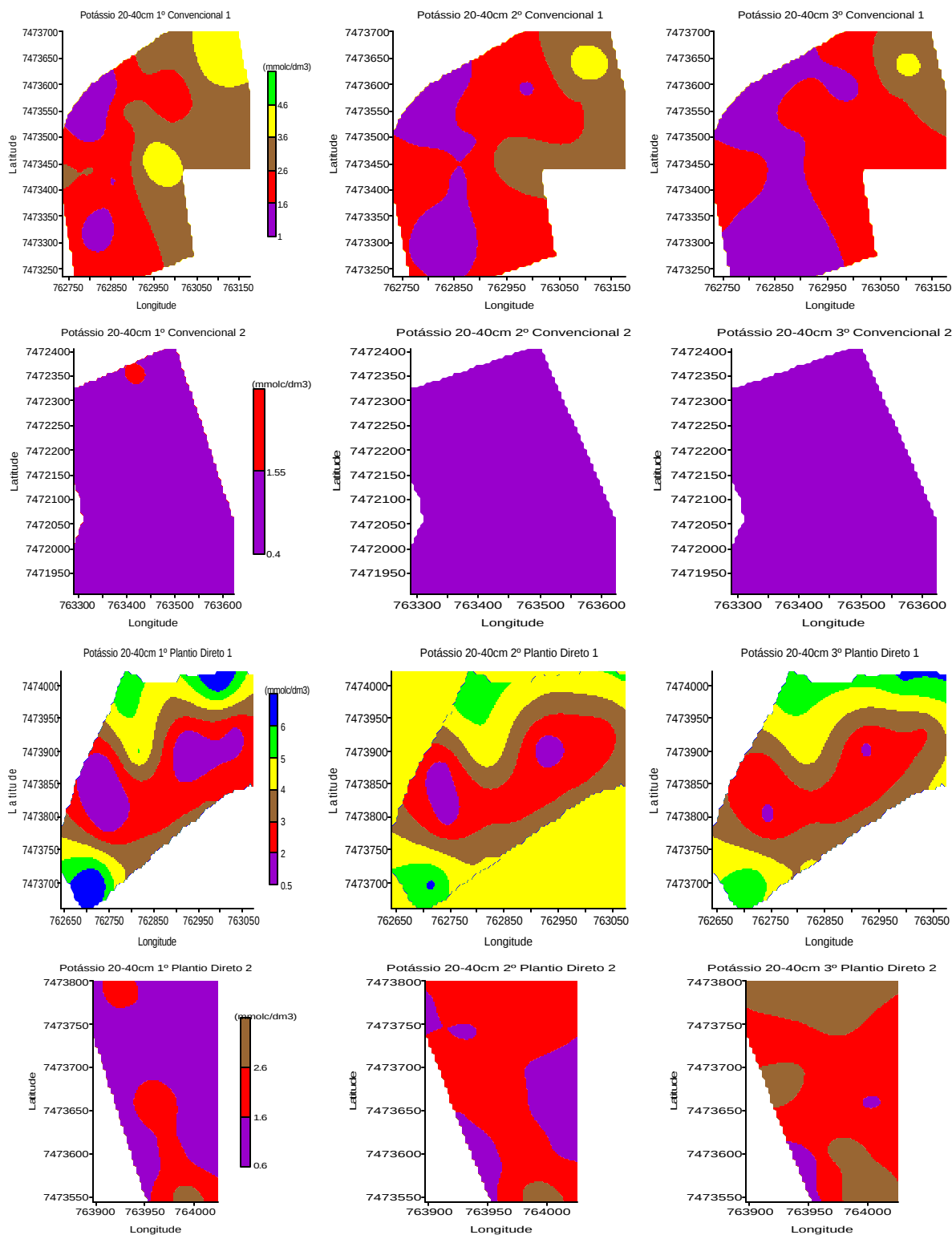


FIGURA 37. Mapas de isofertilidade do solo (Potássio) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-40 cm.

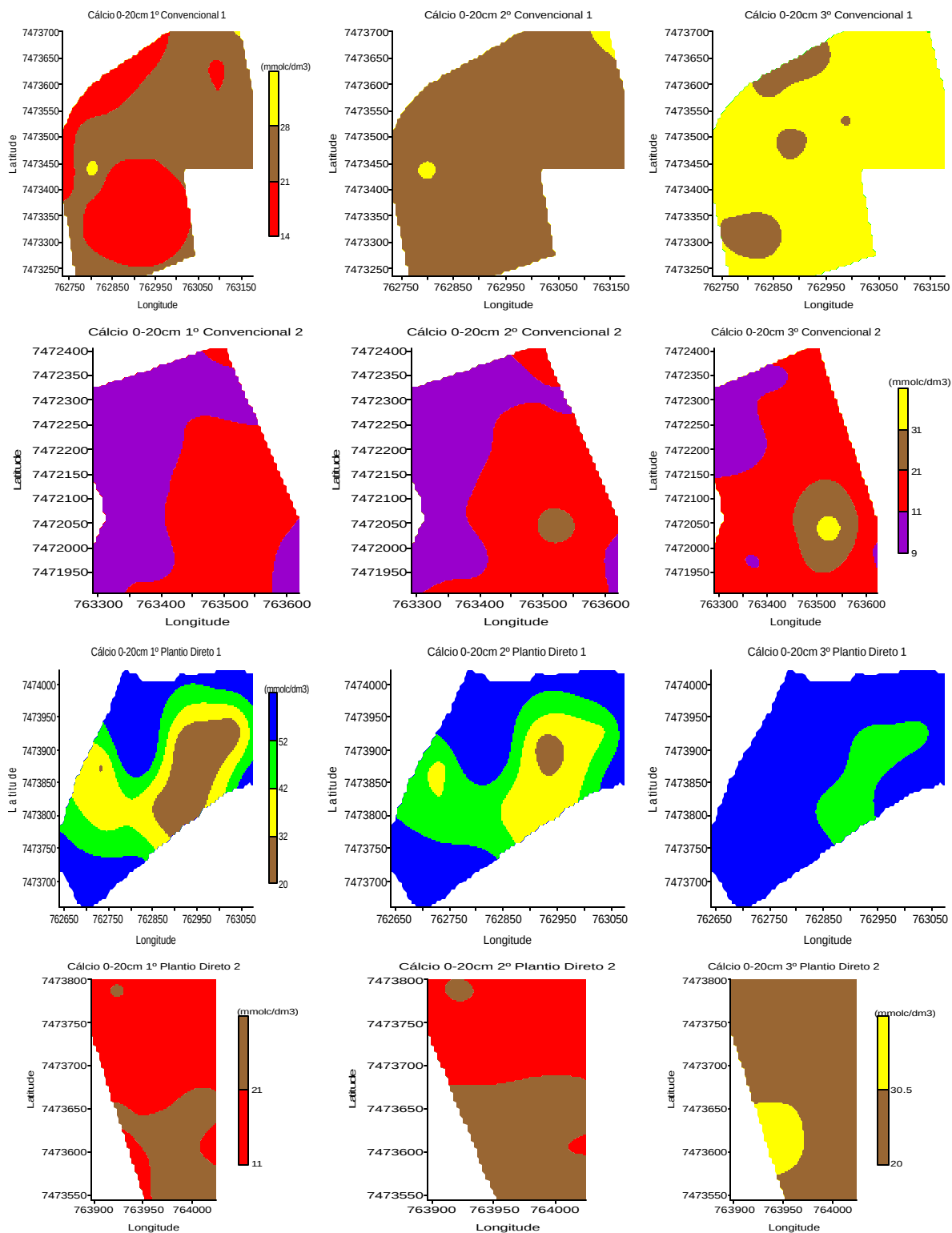


FIGURA 38. Mapas de isofertilidade do solo (Cálcio) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-20 cm.

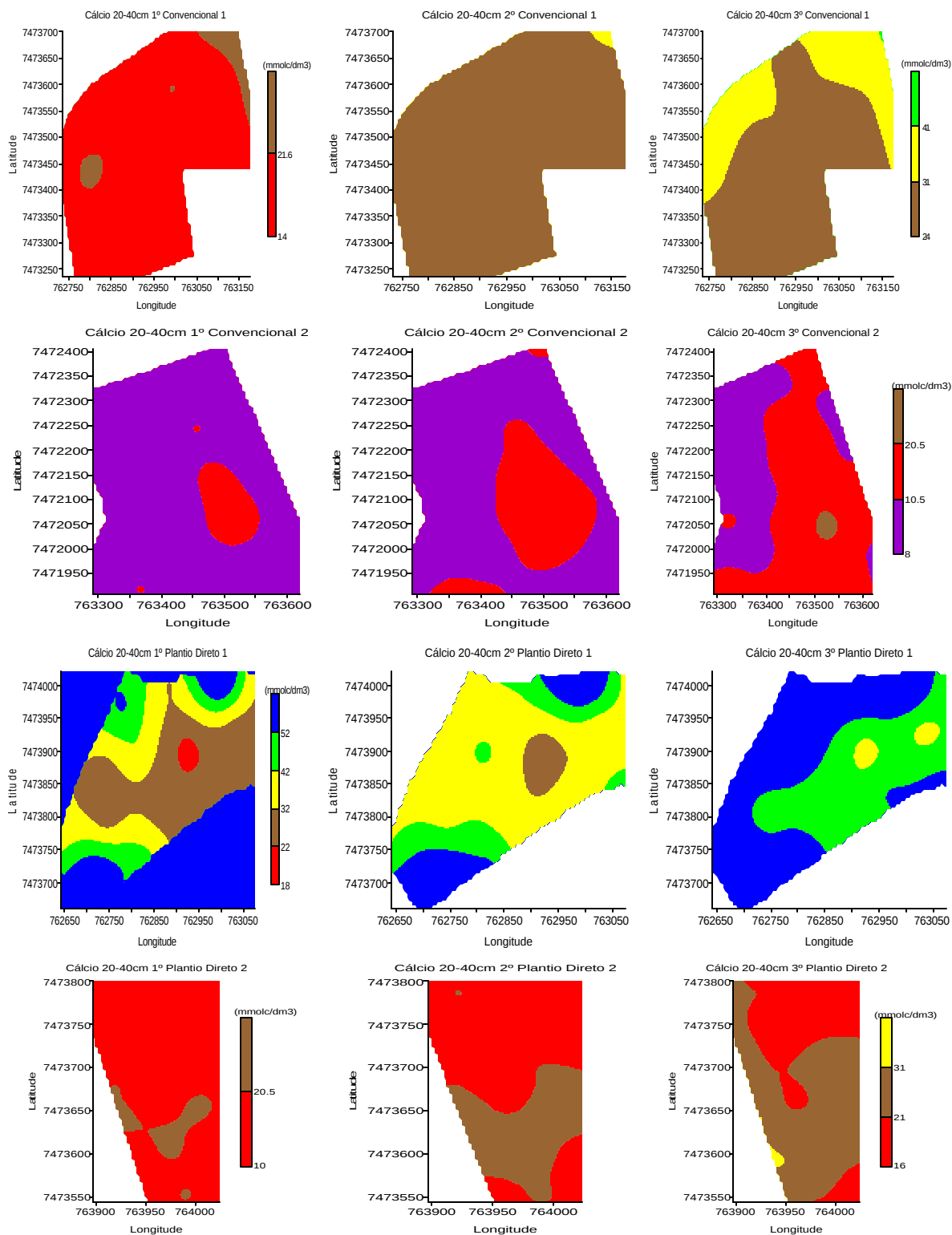


FIGURA 39. Mapas de isofertilidade do solo (Cálcio) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-40 cm.

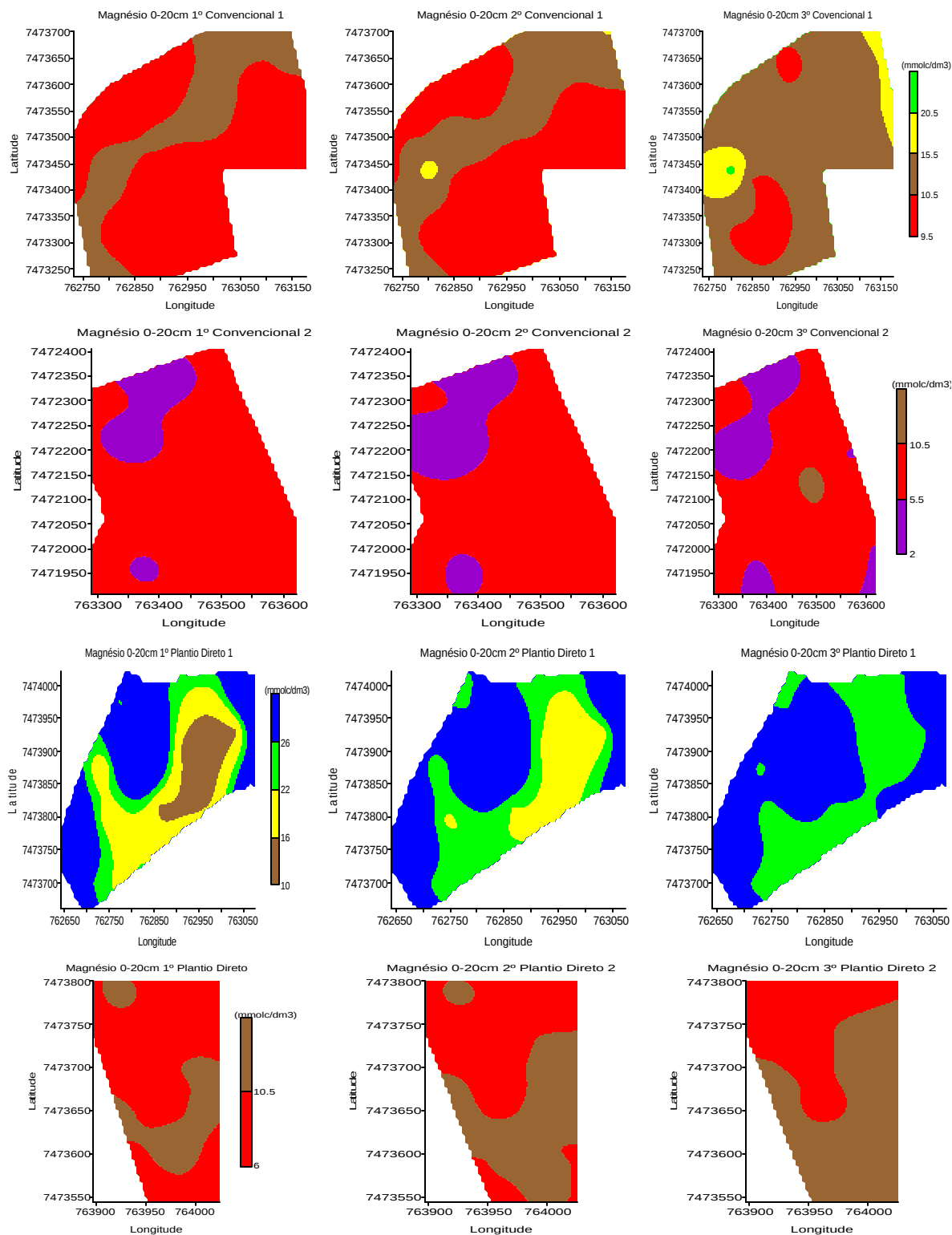


FIGURA 40. Mapas de isofertilidade do solo (Magnésio) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 0-20 cm.

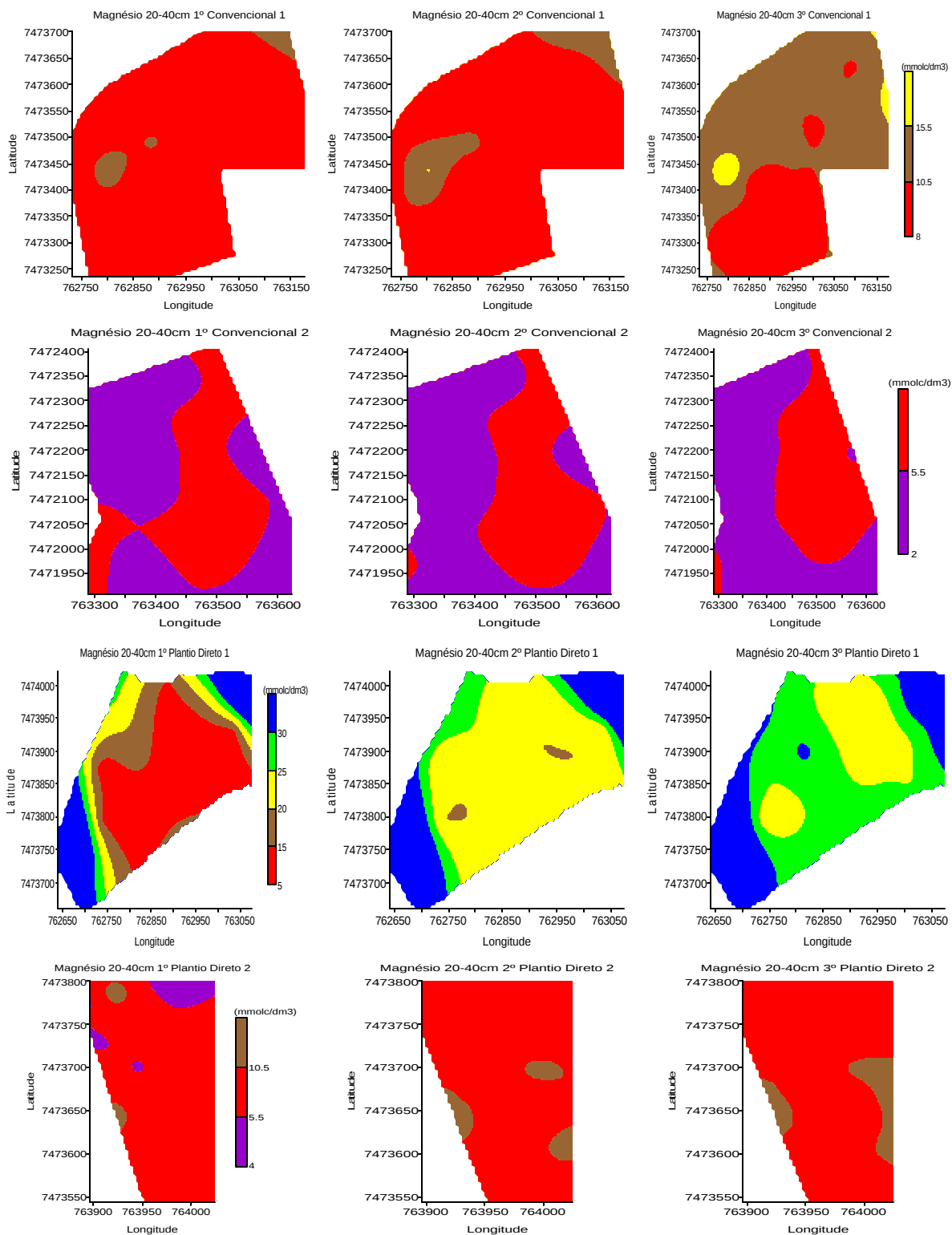


FIGURA 41. Mapas de isofertilidade do solo (Magnésio) nos diferentes tipos de manejo na profundidade de 20-40 cm.

Observa-se ainda que, nas área de plantio direto 1, obteve-se valores altíssimos de magnésio. Este aumento pode ser devido a área encontrar-se em pousio. Mesmos as área que estão sendo cultivadas anualmente, obteve-se valores classificados de médio a alto.

Os valores obtidos de Cálcio e Magnésio nas áreas em estudo, confirmam o trabalho realizado por Muzilli (1983), onde o autor explica que a distribuição e acúmulo de cálcio e magnésio trocável na camada arável do solo, comparados com os sistemas de cultivo de plantio convencional e plantio direto, tende a diminuir gradativamente da disponibilidade destes elementos nas partes mais profundas da camada arável.

A Figura 42 apresenta os mapas de isotextura do solo (Areia) nos diferentes tipos de manejo e nas camadas de 0-20cm e 20-40cm. Analisando as quatro áreas em estudo verifica-se que, a área de plantio convencional 1 apresentou a maior porcentagem de areia nas duas profundidades estudadas. As demais áreas apresentaram porcentagem de areia semelhantes.

A Figura 43 apresenta os mapas de isotextura do solo (Argila) nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm. As áreas de plantio convencional 1 e plantio direto 1 e 2, apresentaram valores semelhantes com textura muito argilosa. Entretanto, os solos argilosos estão mais sujeitos à compactação pelo fato de que, as argilas promovem o fenômeno da plasticidade ao substrato, aumentando a coesão entre as partículas (CINTRA et al., 1983).

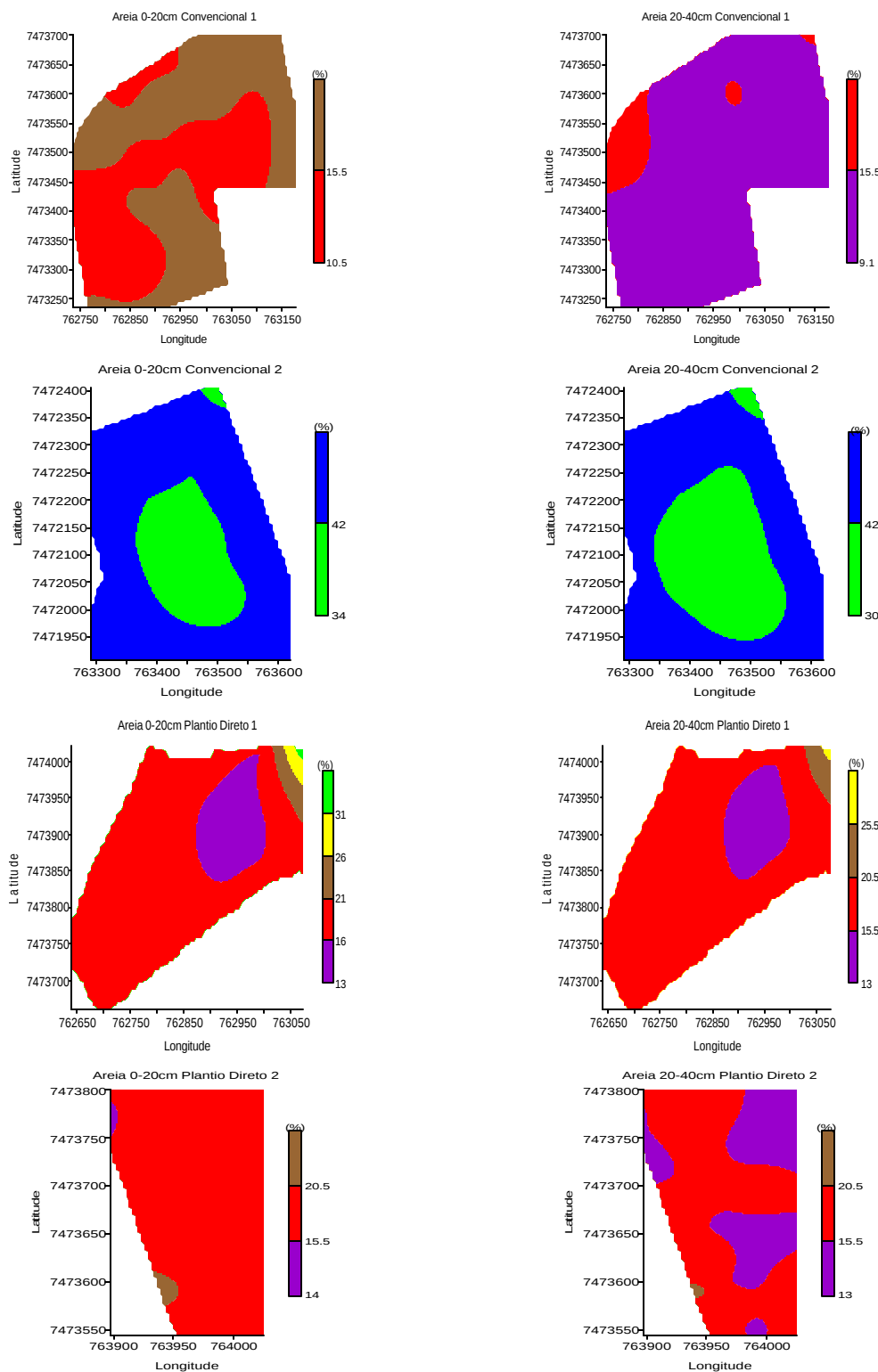


FIGURA 42. Mapas de isogranulometria do solo (Areia) nos diferentes tipos de manejo nas profundidades de 0-20cm e 20-40 cm.

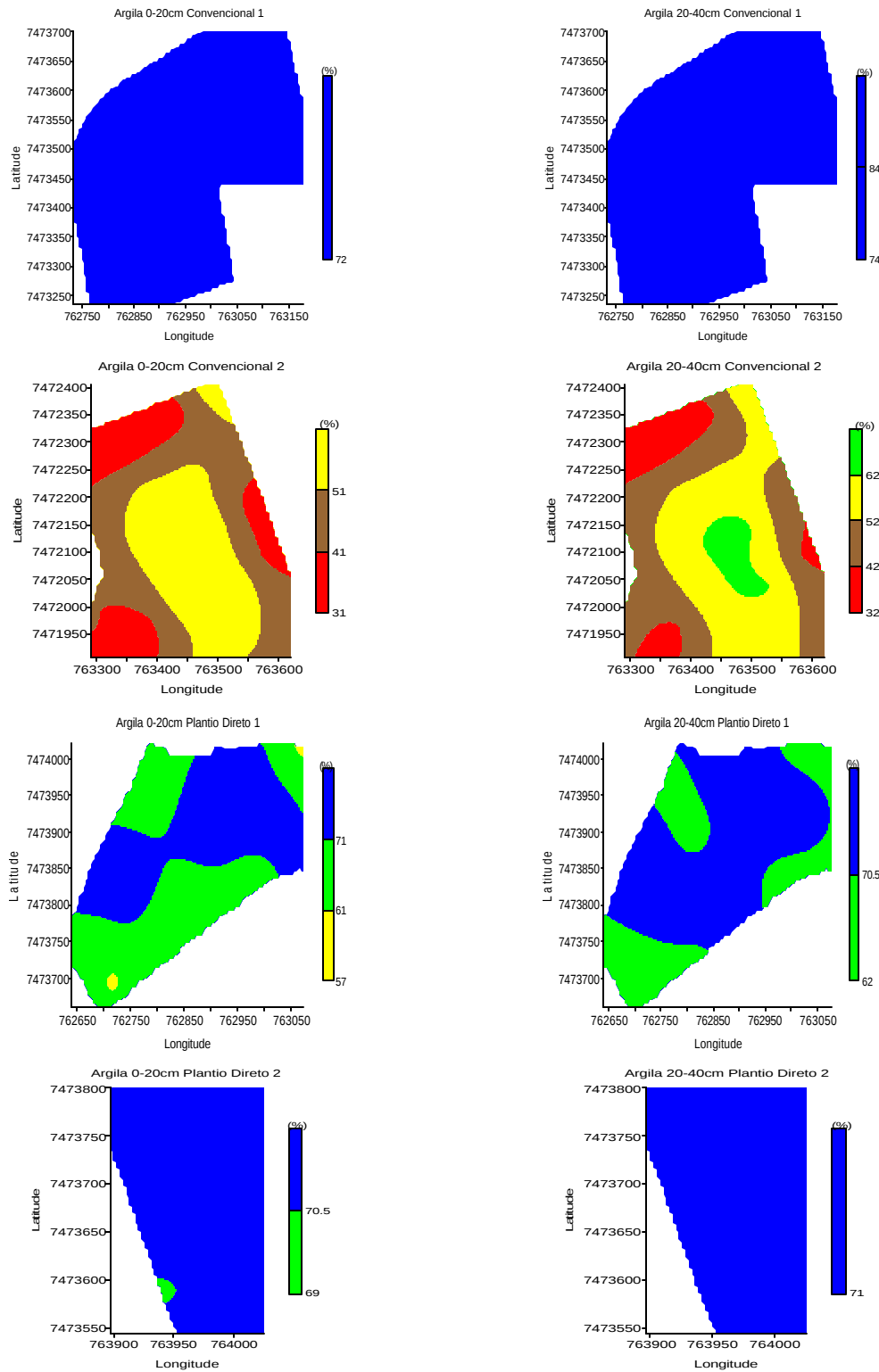


FIGURA 43. Mapas de isogranulometria do solo (Argila) nos diferentes tipos de manejo nas profundidades de 0-20cm e 20-40 cm.

Na Figura 44, são apresentados os mapas de prescrição de taxas variáveis de calcário nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm. A classe correspondente as faixas de aplicação do corretivo, foram simuladas com intervalos de 1 tonelada. Entretanto, observou-se que, em alguns trechos da área apresentaram valores negativos, devido a V% atual apresentar valores superiores à V% desejada. As distribuições de aplicação de calcário buscando elevar a saturação de bases (V%) a 60 foi recomendada para a cultura de milho (RAIJ et al., 1997).

Na recomendação da aplicação do corretivo, para a área de plantio convencional 1, verificou-se que em 19,29 % da área total, há necessidade de aplicação de 1 tonelada de calcário, em 52,94 % da área total, há necessidade de aplicação de 2 toneladas e em 27,77 % da área, há necessidade de aplicação de 3 toneladas.

Para a área de plantio convencional 2, verificou-se que na área total 22,22% não necessitam de aplicação de calcário, em 5,56% necessitam de 1 tonelada, em 13,89% da área necessitam de 2 toneladas, em 13,89% da área necessitam de 3 toneladas, em 25% da área necessitam de 4 toneladas e em 19,44% da área necessitam de 5 toneladas de calcário.

Na área de plantio direto 1 observou-se que, para as duas profundidades estudadas que não há necessidade de aplicação do corretivo visto que, a área total apresenta valores negativos devido a V% atual apresentar valores superiores à V% desejada. Tal fato, pode ser explicado devido a área ter permanecido em pousio.

Para a área de plantio direto 2 verificou-se que, em 12,50% da área, não há necessidade de aplicação de calcário, em 33,33% da área necessitam de 1 tonelada, em

16,67% da área necessitam de 2 toneladas, em 25% da área necessitam de 3 toneladas, em 8,33% da área necessitam de 4 toneladas e em 4,17% da área necessitam de 5 toneladas.

Analisando as quatro áreas em estudo observou-se que, as áreas de plantio convencional e plantio direto 2 apresentaram as maiores necessidades de aplicação de calcário. Siridas & Pavan (1995) explicam que, no sistema de plantio direto a tendência de acidificação do solo é inferior ao sistema de plantio convencional, devido a menor taxa de mineralização de material orgânico acumulado na superfície. O fato da área de plantio direto 2 apresentar valores altos de necessidade de calcário pode ser explicado devido a área ser manejada intensivamente, causando uma diminuição do C orgânico do solo (Reicosky 2000). Em estudos realizados por Silva et al. (2002), em área de plantio direto indicaram a necessidade de aplicação de 75% a mais de calcário, em relação a quantidade de calcário necessária para uma aplicação em taxa uniforme.

A Figura 45 apresenta os mapas de prescrição de taxas variáveis de fósforo nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0 – 20cm e 20 – 40cm. As necessidades em kilos (kg) foram calculadas para uma produtividade esperada de 6 a 8 t ha⁻¹ de milho (RAIJ et al., 1997).

O mapa de recomendação para o elemento fósforo exhibe uma das premissas básicas da agricultura de precisão, que é tratar a variabilidade do solo em busca da homogeneidade.

Na área de plantio convencional 1 verificou-se que, 33,33% da área necessitam de 50 kg de P₂O₅ e em 66,67% da área necessitam de 70 kg de P₂O₅, estando bem próximo de uma aplicação em área total do elemento. Já, a área de plantio convencional 2,

segue a mesma tendência da área de plantio convencional 1. Entretanto, com um aumento de 70 kg de P_2O_5 para 33,33% da área e de 90 kg de P_2O_5 para 66,67% da área.

Para a área de plantio direto 1, observou-se uma recomendação de doses de P_2O_5 em relação as áreas de plantio convencional 1 e 2. Para a recomendação de doses de 30 kg de P_2O_5 , observa-se que em 45,83% da área necessitam da aplicação dessa dosagem e em 54,17% da área, necessitam da aplicação de 50 kg de P_2O_5 .

A área de plantio direto 2 revelou que, 75% da área necessitam de 70 kg de P_2O_5 , estando bem próximo de uma aplicação em área total do elemento, já caminhando para tal homogeneidade. Apenas 25 % da área necessitam de 50 kg de P_2O_5 .

Para o elemento fósforo, a área de plantio convencional 2 apresentou as maiores necessidades de aplicação deste elemento, variando de 70 a 90 kg de P_2O_5 . Buchanam & King (1993) explicaram que, as perdas de fósforo é mais rápida e elevada no preparo convencional independentemente da época do ano.

Na Figura 46 são apresentados os mapas de prescrição de taxas variáveis de potássio nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm. As necessidades em kilos (kg) foram calculadas para uma produtividade esperada de 6 a 8 t ha⁻¹ de milho (RAIJ et al., 1997).

Para a área de plantio convencional 1, verificou-se que, 47,22% da área necessitam de 30 kg de K_2O e em 52,78% da área necessitam de 50 kg de K_2O .

Na área de plantio convencional 2, verificou-se uma homogeneidade do elemento sendo possível uma aplicação em área total, necessitando de 50 kg de K_2O .

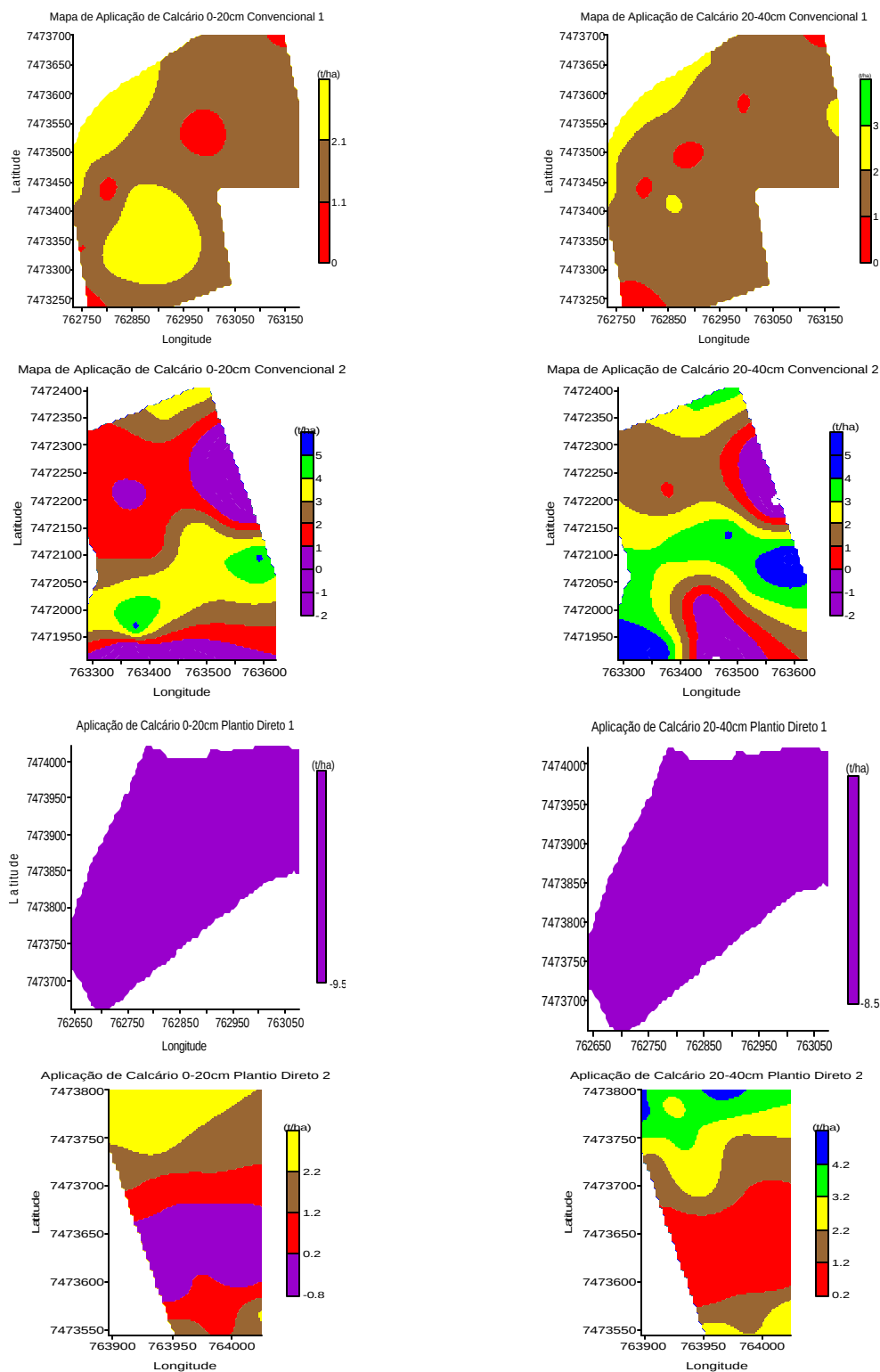


FIGURA 44. Mapas de prescrição de taxa variável de calcário nos diferentes tipos de manejo nas profundidades de 0-20cm e 20-40 cm.

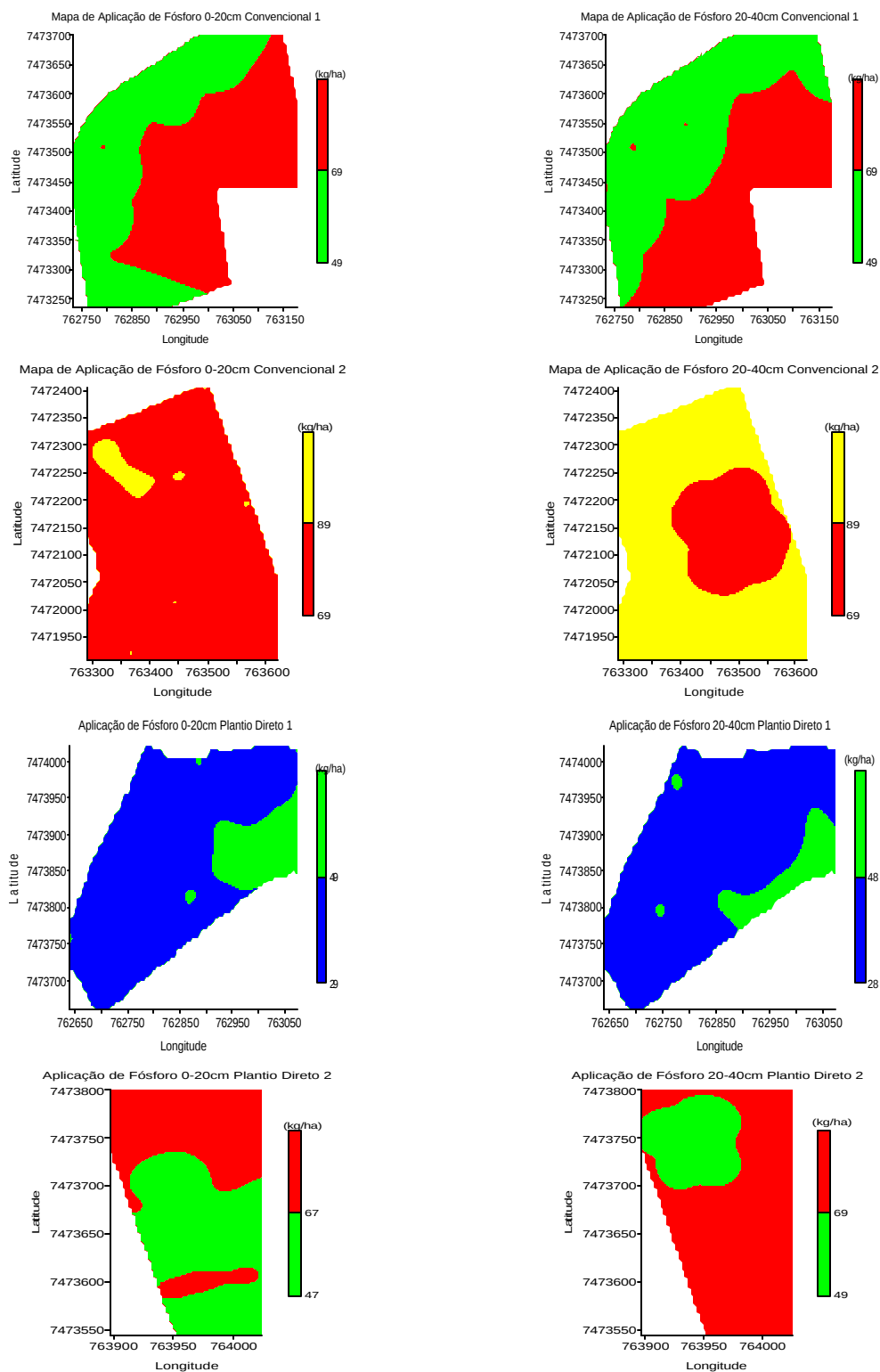


FIGURA 45. Mapas de prescrição de taxa variável de fósforo nos diferentes tipos de manejo nas profundidades de 0-20cm e 20-40 cm.

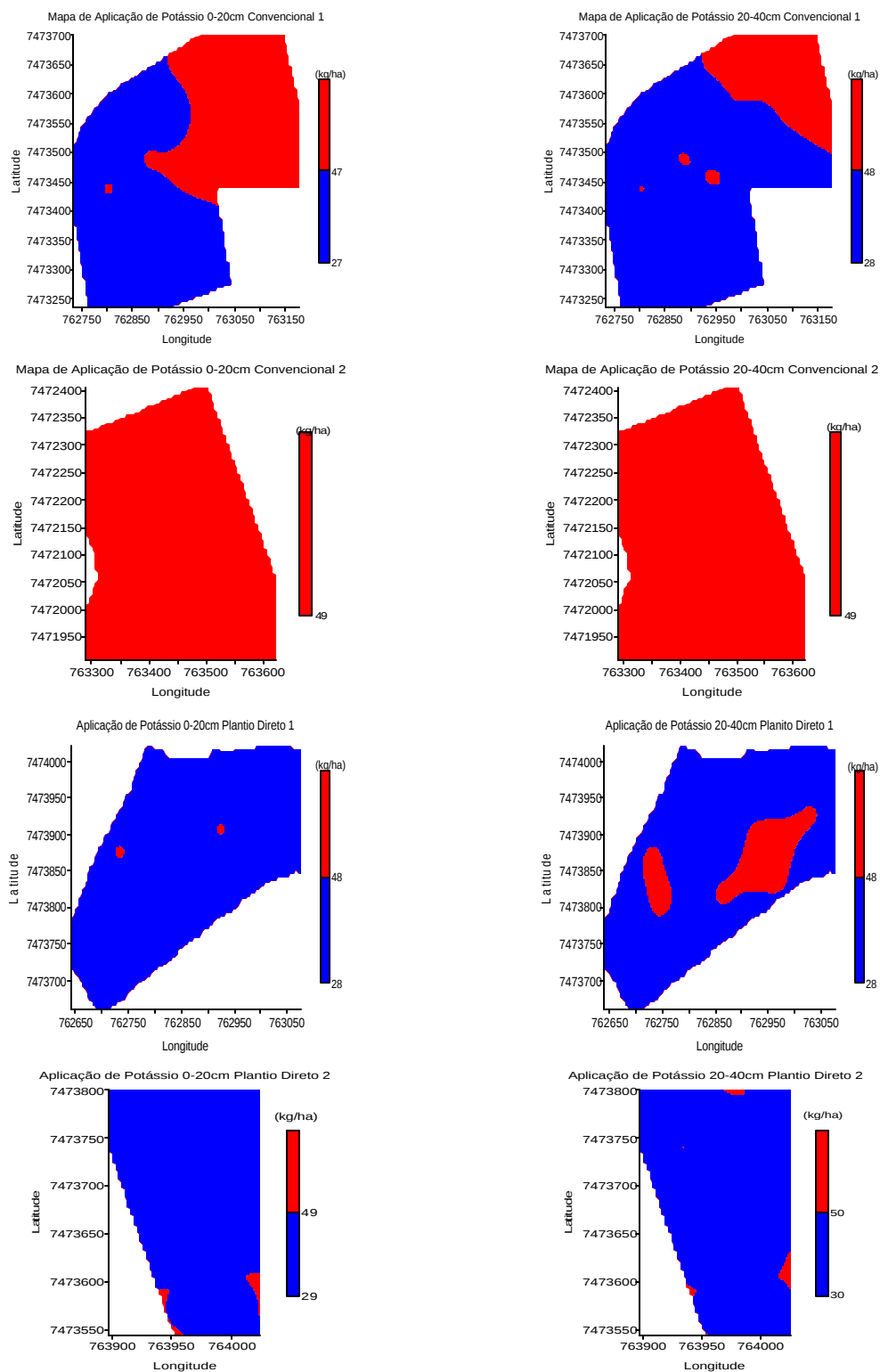


FIGURA 46. Mapas de prescrição de taxa variável de potássio nos diferentes tipos de manejo nas profundidades de 0-20cm e 20-40 cm.

Para a área de plantio direto 1 (Figura 46), analisando a profundidade de 0-20cm observou-se que, a recomendação de doses de 50 kg representam proporções insignificantes, uma vez que não são passíveis de manejo.

Na área de plantio direto 2, verificou-se pequenas manchas na área, com necessidade de aplicação de 50 kg de K_2O . Fekete (1997) explicou que, áreas muito reduzidas seriam praticamente impossível de serem manejadas com a tecnologia disponível para efetuar tais aplicações uma vez que, o tempo de resposta do sistema GPS para manejo específico de nutrientes, relativos a sua locação e o atraso de resposta no controlador de fertilizantes dos aplicadores disponíveis, é maior que o tempo de deslocamento pela área, implicando em atrasos e aplicações erradas.

A grande variação obtida nos diferentes tipos de manejo (plantio direto e convencional) foi em função do tipo de preparo do solo, sendo um fator que influencia fortemente na compactação. Tal afirmação vem confirmar os trabalhos desenvolvidos por Libardi et al. (1986), Manor et al. (1991), Maria et al. (1999), Mello Ivo & Mielniczuk (1999), Sverzut et al. (2001) e Ralisch et al. (2001).

Os trabalhos desenvolvidos por Balastreire (1987), Mantovani et al. (1995) e Lanças et al. (2000) explicaram que a resistência mecânica à penetração é influenciada pelo teor de água, sendo que, ocorre um aumento da resistência mecânica à penetração com a diminuição do teor de água.

A variação nos sistemas de manejo em relação a fertilidade do solo pode ser explicada devido ao manejo para o sistema de plantio direto que nem sempre é o mesmo aplicado para o manejo do sistema convencional (Wietholter, 1997).

A agricultura de precisão no contexto da compactação do solo foi importante e adequada na localização das áreas com problemas de compactação, visto que esta não é a mesma dentro de uma área agrícola e surge com diferentes níveis de intensidade.

O uso de técnicas de agricultura de precisão com a finalidade de mapear e gerenciar a variabilidade dos atributos químicos do solo apresentou resultados satisfatórios, podendo deixar de considerar determinadas áreas agrícolas como uniformes para dividi-las em parcelas menores. Deste modo, passam a ser analisadas individualmente quanto a quantidade e a qualidade de insumos a receber.

7 CONCLUSÃO

Através dos dados levantados em campo para geração dos mapas, concluiu-se que:

Os mapas de isocompactação, isoumidade, isodensidade, isotextura e isofertilidade do solo pela técnica da krigagem, mostraram-se adequados, possibilitando a visualização dos mapas de isolinhas com precisão e fidelidade dos dados originais.

Os maiores valores de índice de cone (kPa), teor de água e densidade foram obtidos no sistema de plantio direto, visto que, as áreas estudadas de plantio convencional foram manejadas na profundidade de 0-30 cm para a implantação da cultura da soja.

Os maiores valores de fertilidade do solo (pH, M.O, P, K, Ca e Mg) foram obtidos no sistema de plantio direto para as duas profundidades estudadas, quando comparados ao sistema convencional.

Através da análise dos mapas de prescrição em taxa variável concluiu-se que, as áreas de plantio convencional 1 e 2 e a área de plantio direto 2 apresentaram resultados semelhantes, com a mesma necessidade de calcário. Para a área de plantio direto1, observa-se que não há necessidade de aplicação do corretivo visto que, a área total apresenta valores negativos devido a V% atual apresentar valores superiores a V% desejada.

Para fósforo verificou-se que, as áreas de plantio convencional 1 e plantio direto 2 apresentaram a mesma tendência, com as mesmas necessidades de adubação. A área de plantio direto 1 apresenta a menor necessidade do adubo. Já a área de plantio convencional 2 apresenta a maior necessidade de adubação variando de 70 a 90 kg ha⁻¹.

Para potássio verificou-se que, as áreas de plantio direto apresentaram a menor necessidade de adubação. Já as áreas de plantio convencional apresentaram as maiores necessidade do produto.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASE, J. K.; PIKUL, J. L. *Compaction and bearing strength*. In: MODELNHAUER, W.C.; BLACK, A. L. Crop residue management to reduce erosion and improve soil quality in Northern Great Plains. Washington: USDA, 1994. p. 34-35.

AMARAL, J. R. *Desenvolvimento e construção de um penetrógrafo eletrônico*. Piracicaba. 1994. 103p. Dissertação (Mestrado) em Agronomia. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1994.

ASAE Standard ASAE S313.2, *Soil Cone Penetrometer*, Agricultural Engineers Yearbook of Standards, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, EUA, 591 p., 1991.

BALASTREIRE, L. A. Estudo de caso: uma pesquisa brasileira em agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, Mecanização e Agricultura de Precisão. 1998, Poços de Caldas, MG, *Anais...* Resumo expandido. Lavras: UFLA/SBEA, 1998a. Cap. 6. p. 203-231.

BALASTREIRE, L. A. *Máquinas Agrícolas*. São Paulo: Manole, 1987. 310p.

BALASTREIRE, L. A. Potencial de utilização dos conceitos de agricultura de precisão na cultura da cana-de-açúcar. *STAB, Açúcar, Alcool e Subprodutos*. v.16, n.4. p.22-26. Março-abril 1998b.

BALASTREIRE, L. A., BAIO, F. H. R., AMARAL, J. R., RODRIGUES, A. A. Avaliação da acurácia cinemática de um sistema de posicionamento global diferencial, utilizado na agricultura de precisão. In: Balastreire, L. A. *Estudo-da-arte em agricultura de precisão no Brasil*, Piracicaba, 2000. p.173-181.

BARCELOS, A. A., CASSOL, E. A., DENARDIN, J. E. Infiltração de água em um latossolo vermelho-escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, v:23, p.35-43. 1999.

BAYER, C., BERTOL, I. Características químicas de um cambissolo húmico afetados por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. . *R. Bras. Ci. Solo*, v:23, n.3, p.687-694. 1999.

BAYER, C., MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.21, p.235-239, 1997.

BEUTLER, A. N., CENTURION, J. F., SOUZA, Z. M. *Retenção de água em diferentes níveis de compactação de dois solos*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30, CONBEA 2001, Foz de Iguaçu – PR,(CD-ROM). 2001.

BRUS, D. *Incorporating models of spatial variation in sampling strategies for soil*. Wageningen, Agricultural University, 1993. 211p. (Tese de Doutorado).

BUCHANAN, M., KING, L.D. Carbon and phosphorus losses from decomposing crop residues in no-till and conventional till agroecosystems. *Agron. J.*, Madison, v.85, p. 631-638, 1993.

BURROUGH, P. A., VAN GAANS, P. F. M., HOOTSMANS, R. Continuous classification in soil survey: spatial correlation, confusion and boundaries. *Geoderma*, v. 77, p. 115-135, 1997.

CAIRES, E.F., FONSECA, A.F., MENDES, J., CHUEIRI, W.A., MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície em sistemas de plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa (MG), v.23, p.315-27, 1999.

CAMBARDELLA, C. A., MOORMAN, T. B., NOVAK, J. M., PARKIN, T. B., KARLEN, D. L., TURCO, R. F., KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CARDIM, M., CATANEO, A., PAULO, E. M., MELLO, C. M. de, GABRIEL, L. R. A., GUIMARÃES, E. C. Estudo da variabilidade espacial da densidade do solo. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1, 1999, Botucatu, *Anais...*, Botucatu, UNESP-FCA, 1999, p.535-540.

CARVALHO, T.M.; SILVA, A.M.; OLIVEIRA, M.S.; AQUINO, L.H.; FERREIRA, M.M. Variabilidade espacial da retenção de água em um latossolo vermelho-amarelo através da geoestatística. *Ciência e Prática*, v.16, p.521-528, 1992.

CASTRO, O . M. *Preparo do Solo para a Cultura do Milho*. Campinas: Fundação Cargill, 1989, 41p (Série Técnica 3).

CASTRO, O. M. de, VIEIRA, S. R. Potencial matricial de água no solo e adubação nitrogenada na produtividade do milho em latossolo sob vegetação de cerrado. . *R. Bras. Ci.*

Solo, v:22, p.247-254. 1998.

CENTURION, J.F., DEMATTÊ, J.L.I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.9, p.263-6, 1985.

CHANCELLOR, W.J. *Compaction of soil by agricultural equipment*. Berkeley: University of California, Division of Agricultural Sciences, 1977. 53p. (Bulletin 1981).

CINTRA, F. L. D., SCOPE, I. Caracterização do impedimento mecânico em um Latossolo Roxo do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.7, p.323-327, 1983.

COAN, O. *Preparo vertical do solo*. (Palestra proferida no XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Viçosa-MG. 1994).

COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO. *Manual de adubação e calagem para o Estado da Bahia*. 2 ed. Salvador, CEPLAC/EMATERBA/EMBRAPA/EPABA/NITROFÉRTIL, 1989. 173p.

CORRECHEL, V., SILVA A.P., TORMENA, C.A. Influência da posição relativa à linha de cultivo sobre a densidade do solo em dois sistemas de manejo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa (MG), v.23, p.165-173, 1999.

COSTA, L.A.M., ZUCARELI, C., SILVA, M.S., SILVA, C.J., MATTER, U.F., PELÁ, A., DECARLI, L.D. Comportamento da resistência à penetração em latossolo roxo eutrófico cultivado com quatro espécies de adubos verdes destinadas a produção de sementes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, A Engenharia Agrícola – TENDÊNCIAS E INOVAÇÕES. 1999, Pelotas, RS, *Anais...* Pelotas/RS, (CD ROM). 1999.

COUTO, E. G., SCARAMUZZA, J. F., FONSECA NETO, L. MARASCHIN, L., BRONZATTI, C. C. *O manejo localizado de atributos do solo no sul do Mato Grosso, um*

caminho para a agricultura de precisão. In: BALASTREIRA, L. A. Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1999-2001. Piracicaba – SP. (CD-ROM). 2002a.

COUTO, E. G.; SCARAMUZZA, J. F.; MARASCHINI, L.. Influência dos Métodos de Interpolação dos Dados nos Mapas Usados na Agricultura de Precisão. In: Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão, 2. Viçosa, MG. *CD-ROM*, 2002b.

DIAS Jr., M.S., ESTANISLAU, W.T. Grau de compactação e retenção de água de latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa (MG), v.23, p.45-51, 1999.

DICK, R.P., THOMAS, D.R., HALVORSON, J.J. *Standardized methods, sampling and sample pre-treatment*. In: DORAN, J.W., JONES, A.J., ed. *Methods for assessing soil quality*. Madison, Soil Sci. Soc. of America. Special publication, n.49, p.107-21, 1996.

EKWUE, E. I., STONE, R. J. Organic matter effects on the strength properties of compacted agricultural soils. *Transactions of the ASAE*, v.38, p. 357-365, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2ª edição. Rio de Janeiro, RJ. 1997. 212p.

ENGLUND, E., SPARKS, A. *GEO-EAS geostatistical environmental assessment software – version 2.1*. USEPA., Las Vegas, 1988. Sp.

FARINA, M.P.W. & CHANNON, P. Acid – subsoil amelioration. II Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 52:p. 175-180, 1988.

FEKETE, A. Analysis of location error. In: Precision Agriculture'97. v.1: Spatial Variability in Soil and Crop. Papers presented at the first European Conference on Precision Agriculture Wareick University Conference Center. 1997. p. 559-65.

FERGUSON, R.B. GOTWAY, C.A., HERBERT, G.W., PETERSON, T.A. Soil sampling for site-specific nitrogen management. In: *Precision Agriculture*, Proceedings of the Thirth International Conference. 1996. Minneapolis. p.13, 1996.

FERNANDES, H.C., LANÇAS, K. P. Determinação dos níveis de compactação do solo causados pelo tráfego de um “FORWARDER” em um latossolo roxo da região de Botucatu/SP. *Energia na Agricultura*, Botucatu, v.12, p.53-60, 1997.

FOLEGATTI, M.V. *Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Tese (Livre-Docencia). 1996. 84p.

FREITAS, P. E. Manejo Físico do Solo. In: Costa, C. V. e Borges, L. C. V., Coord. Simpósio sobre manejo e conservação do solo no Cerrado. Goiânia, 1992, *Anais...* Campinas, Fundação Cargill, 1994, p.117-130.

GOMES FILHO, R.R., D’ÁVILA, J.H.T. Agricultura de precisão: utilização da informação espacial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, A Engenharia Agrícola – TENDÊNCIAS E INOVAÇÕES. 1999, Pelotas, RS, *Anais...* Pelotas/RS, (CD ROM). 1999.

GONÇALVES, C. N., CERETTA, C. A. Plantas de cobertura do solo amortecendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa (MG). v:23, p.307-313. 1999.

GUIMARÃES, E.C. *Variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo em um Latossolo Roxo*. Campinas, UNICAMP, 1993. 136p. Dissertação (Mestrado).

HANKE, E.L., SLOB, M.R., OTTO, S.R.L., CARRILHO, P.F. Curva de retenção de água no solo – métodos alternativos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA

AGRICOLA, 28, A Engenharia Agrícola – TENDÊNCIAS E INOVAÇÕES. 1999, Pelotas, RS, Anais... Pelotas/RS, (CD ROM). 1999.

HENDERSON, C.W.L. Using a penetrometer to predict the effects soil compaction on the growth and field of wheat on uniform, sandy soils. *Aust. J. Agr. Res.* Victoria, v.40, p.497-508, 1989.

HOLTZ, G. P., SÁ, J. C. M. Resíduos culturais: reciclagem de nutrientes e impacto na fertilidade do solo. In: Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto. 1995, Castro, PR, *Anais...*, Fundação ABC, 1995.

ISAAKS, E. H., SRIVASTAVA, R. M. *An introduction to applied geostatistics*. New York, Oxford University Press. 1989. 560p.

JORGE, J. A. *Física e manejo dos solos tropicais*. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 328p.

KING, B. A., STARK, J. C. , TABERNA JR. , J. P. In season spatial variability of potato petiole Nitrogen. International conference on precision agriculture, 4, 1998, St. Paul-Minnesota. Proceedings... St. Paul, *Am. Soc. Agr.* Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, 1998. p. 55-66.

KLEIN, V. A., BOLLER, W. Avaliação de diferentes manejos de solo e métodos de semeadura em áreas sob sistema de plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, Santa Maria, RS, v.25, p.395-398, 1995.

KLEIN, V.A., LIBARDI, P.L. Armazenagem de água no solo e resistência à penetração. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12. 1998. Fortaleza/Ceará. *Resumos expandidos*. Sociedade Brasileira Ciências do Solo. Universidade Federal do Ceará. 1998. p.163-164.

KUHAR, J. E. *The precision-farming guide for agriculturists*. Moline, 1997. 117 p.

LANÇAS, K.P., UPADHYAYA, S.K. & SIME, M. *Traction and soli compaction due to low correct inflation pressure for radial ply tractor tires*. In: North American ISTVS Saskatoon, SK, Canada. p. 10-12. 1995.

LANÇAS, K. P., SANTOS FILHO, C.A. *Penetrômetro hidráulico-eletrônico equipado com DGPS para avaliação da compactação do solo*. La Plata, Editorial de la U.N.L.P. p. 570-576. 1998.

LANÇAS, K. P., UPADHYAYA, S. K. Pneus radiais para tratores: guia para seleção correta da pressão de inflação. *Energia na Agricultura. Boletim Técnico*, n.1, p.1-33, 1997.

LANÇAS, K.P., BENEZ, S.H., FURLANI Jr, J.A., GAMERO, C.A., ANTUNIASSI, U.R. Subsolador: desgaste em função da sua dureza superficial. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 19., Piracicaba, SP. 1990. *Anais*. Piracicaba, SP. p. 801-09. 1990.

LANÇAS, K.P., SANTOS FILHO, A.G. dos, UPADHYAYA, S.K., RIPOLI, T.C. Estimativa da compactação do solo, através do índice de cone, para três sistemas de condução da cultura do milho num projeto de agricultura sustentada de longo prazo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 25., Bauru, SP, 1996. *Anais*. Bauru, SP. McA232 (CD ROM). 1996.

LANÇAS, K.P.; CASTRO NETO,P.; NAGAOKA, A.K.; GUERRA, S.P.S. Soil cone penetration resistance and moisture maps for sugar cane field. *AgEng Warwick*, 2000, Paper Number: 00-PA-025.

LANDIM, P. M. B. *Introdução aos métodos de estimação espacial para a confecção de mapas*. UNESP, Rio Claro, Texto Didático, 02, 2000. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>> Acesso em: 10 fev. 2001.

LIBARDI, P. L., PREVEDELLO, C. L., PAULETO, E. A., MORAIS, S. O. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transação. *R. Bras. Ci. do Solo*, v 10, p 85-90. 1996.

LINS e SILVA, M.L., SVERZUT, C.B., DANIEL, L.A. Proposta de metodologia para obtenção do índice de cone de solos em laboratórios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, A Engenharia Agrícola – TENDÊNCIAS E INOVAÇÕES. 1999, Pelotas, RS, *Anais...* Pelotas/RS, (CD ROM). 1999.

LOPES, A.S. Solos sob “cerrado”, características, propriedades e manejo. Piracicaba, Instituto Internacional da Potassa, 1984. 162p.

LOPES, R. A. P., NÓBREGA, L. H. P., PRIOR, M., BORTOLOTO, V. C., PICKLER, E. P. *Variação da densidade e teor de água em um Latossolo sob dois sistemas de cultivo*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30, CONBEA 2001, Foz de Iguaçu – PR,(CD-ROM). 2001.

LOSNAK, C., LANÇAS, K.P., YANAI, K., SERAPHIM, O.J. Comparação dos resultados obtidos para a resistência do solo à penetração utilizando três aparelhos em dez locais diferentes. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 22., Ilhéus, BA, 1993. *Anais*. Ilhéus, BA. p. 1895-1901. 1993.

MACHADO, A.L.T., TREIN, C.R., BICA, A.V.D., BOENI, M. Desenvolvimento e aplicação de um penetrógrafo eletrônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, A Engenharia Agrícola – TENDÊNCIAS E INOVAÇÕES. 1999, Pelotas, RS, *Anais...* Pelotas/RS, (CD ROM). 1999.

MAGALHÃES, P. S. G. Manejo de solo e seus efeitos sobre a compactação. In: SILVEIRA, G. M. da. *IV Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola*. Jundiaí: Fundação Cargil, 1990. P.156-167.

MALARINO, A. Using precision agriculture to improve soil fertility management and on-farm research. Integrated crop management, IC - 480 (*Precision Ag. edition*), p.12-14, 1998.

MANOR, G., CLARK, R. L., RADCLIFFE, D. E., LANGDALE, G. W. Soil cone index variability under fixed traffic tillage systems. . *Transactions of the ASAE*, v.34, n.5, p1952-1956, 1991.

MANTOVANI, E. C., MARTYN, P. J., BERTAUX, S. Comparação do coeficiente de tração e da eficiência tratorial de um trator agrícola obtidos pela equação de Wismer e Luth e por ensaios de campo. *Pesq. Agropec. Brás.*, v.30, p.523-530. 1995.

MANTOVANI, E.C. Compactação do solo. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 13, 52-55, março 1987.

MANTOVANI, E.C., QUEIROS, D.M.de., DIAS, G.P. Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, Mecanização e Agricultura de Precisão. 1998, Poços de Caldas, MG, *Anais...* Resumo expandido. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. Cap. 4. p. 109-157.

MANZIONE, R. L. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em Araguari – MG. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista, UNESP Botucatu, 2002. 141p.

MARIA, I. C. de., CANTARELLA, H., VIEIRA, S. R., FREITAS, J. G., MOLIN, J. P. Variabilidade espacial e mapa de atributos de fertilidade do solo para a agricultura de precisão.

In: Balastreire, L. A. Estudo-da-arte em agricultura de precisão no Brasil, *Resumo*, Piracicaba, 2000. p.143

MARIA, J. C. de., CASTRO, O. M., SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, v:23, n.3, p.703-709. 1999.

MARQUES Jr, J., CORÁ, J.E. Atributos do solo para agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, Mecanização e Agricultura de Precisão. 1998, Poços de Caldas, MG, *Anais...* Resumo expandido. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. Cap. 2. p. 31-70.

MATA, J. de D.V. da. *Relações entre características físicas e os níveis de compactação de alguns latossolos paranaenses*. Curitiba, 1988. 105p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração Ciências do Solo) – Universidade Federal do Paraná.

McBRATNEY, A. B., DE GRUIJTER, J. J. A continuum approach to soil classification by modified fuzzy k-means with extragades. *J. Soil Sci.*, v. 43, p. 159-176, 1992.

McBRATNEY, A. B., ODEH, I. O. A. Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. *Geoderma*, v.77, p. 85-113, 1997.

MELLO IVO, W.M.P., MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa (MG), v.23, p.135-143, 1999.

MELLO, C. M. De., CATANEO, A., BICUDO, S. J., CARDIM, M. Variabilidade espacial do teor de matéria orgânica em duas profundidades de um Nitossolo Vermelho Distrófico de Botucatu – SP. In: Simpósio em Energia na Agricultura, 2, SINERGIA 2000. Botucatu. *Anais*. v. 2. p. 374-379. 2000.

MELLO, C. M., CARDIM, M., CATANEO, A. Estudo da variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1, 1999, Botucatu, *Anais...*, Botucatu, UNESP-FCA, 1999, p.553-58.

MIRANDA, N.O. *Alterações físicas nos solos podzólicos Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho Escuro submetidos a diferentes condições de preparo reduzido*. Santa Maria, RS, 1986. 64p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria.

MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão – mais um desafio para o agricultor brasileiro. *Revista Plantio Direto*, n.39, p.26-27. Maio-junho 1997.

MOLIN, J. P. Utilização de GPS em Agricultura de Precisão. *Eng. Agr.*, Jaboticabal, v.17, n. 3, 121-32, março 1998.

MOLIN, J. P., RIBEIRO FILHO, A. C., TORRES, F. P., SHIRAISSI, L. E., SARTORI, S., SARRIÉS, G. A. *Mapeamento da produtividade de café e sua correlação com componentes da fertilidade do solo em duas áreas piloto*. In: BALASTREIRA, L. A. Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1999-2001. Piracicaba – SP. (CD-ROM). 2002.

MORAES, M. H., BENEZ, S. H., LIBARDI, P. L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. *Bragantia*, Campinas, v.54, p.393-403, 1995.

MORAES, M.H., BENEZ, S.H. Efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo em algumas propriedades físicas de uma terra roxa estruturada e na produção do milho para um ano de cultivo. *Eng. Agr.* Jaboticabal, v.16, n.2, p.31-41, dez. 1996.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.7, p.95-102, 1983.

NEGI, S.C., RAGHAVAN, G.S.V., McKYES, E. The effect to compaction and minimum tillage on corn yields and soil properties. *Transaction of the ASAE*, St. Joseph, 23:744-7, 1990.

NOVAK, L.R., MANTOVANI, E.C., MARTYN, P.J., FERNANDES, B. Efeito do tráfego de trator e da pressão contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro álico, em dois níveis de umidade. *Pesq. Agropec. Bras.*, 27:1587-1595, 1992.

ORLANDO, R. C., QUEIROZ, D. M. de., MANTOVANI, E. C., GOMIDE, R. L. Uso de técnicas de geoestatística para a definição de grade de amostragem do solo em agricultura de precisão. In: Balastreire, L. A. Estudo-da-arte em agricultura de precisão no Brasil, *Resumo*. Piracicaba, 2000. p.137.

ORTOLANI, A.F., COAN, O., SALLES, H.C. Influência da compactação do solo no desenvolvimento da soja (*Glycine max* (L) Merrill). *Engenharia Agrícola*. Botucatu, 6(1): 35-42, 1982.

OVALLES, F., REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del lago de Valencia. *Agron. Trop.*, 44, p.41-65, 1994.

PAVAN, M.A., BINGHAN, F.T., PRATT, P.F. Toxicity of aluminium to coffee in Ultisol and Oxisols amended with CaCO_3 and CaSO_4 . *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:1201-1207, 1982.

PEDROTTI, A., VAHL, L.C., PAULETTO, E.A. Níveis de compactação do planossolo e o desenvolvimento radicular de algumas culturas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12. 1998. Fortaleza/Ceará. *Resumos expandidos*. Sociedade Brasileira Ciências do Solo. Universidade Federal do Ceará. 1998. p.89-90.

PEREIRA, J. O., BENEZ, S. H. Efeitos do teor de água e da carga aplicada na densidade e porosidade do solo. *Revista Engenharia Agrícola*. v: 13, n.2, p.27-37. 1998.

PEREIRA, M. H. *A Segunda Revolução Verde*. Brasília: EMBRAPA – SPI, 1997. P 25-29.

PETTER, R. L. *Desenvolvimento radicular da soja em função da compactação do solo, conteúdo de água e fertilidade em Latossolo*. Santa Maria, 1990. 144p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Santa Maria.

PRUSKI, F. F., SILVA, J. M. A., RODRIGUES, L. N., SILVA, D. D. Simulação do escoamento superficial em área sob preparo convencional e plantio direto. In: Congresso brasileiro de Engenharia Agrícola, 28., Pelotas, RS. 1999. *Anais*. Pelotas, RS. (CD ROM). 1999.

RAIJ, B. VAN., QUAGGIO, J. A. *Método de análise do solo para fins de fertilidade*. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 31p. (IAC Boletim Técnico, 81).

RALICH, R., TAVARES FILHO, J. ALMEIDA, . V. P. Avaliação em um solo agrícola sob plantio direto de uma escarificação na evolução da resistência do solo à penetração. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30 – CONBEA 2001, Foz de Iguaçu – Paraná. *CD-ROM*. 2001.

REICOSKY, D. C. Impactos do revolvimento do solo em plantio direto. In: Encontro nacional de Plantio Direto na Palha. 7., *Resumos*. Foz de Iguaçu, p. 97-101. 2000.

RHEINHEIMER, D. S., ANGHINONI, I., KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, v:24, p.345-354. 2000.

ROCHA, J.V., LAMPARELLI, R.A.C. Geoprocessamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, Mecanização e Agricultura de Precisão. 1998, Poços de Caldas, MG, *Anais...* Resumo expandido. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. Cap. 1. p. 1-30.

RODRIGUES, J. B. T. *Variabilidade espacial e correlações entre atributos do solo e produtividade na agricultura de precisão*. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista, UNESP Botucatu, 2002. 116p.

RODRIGUES, J. B. T., MANZIONE, R. L. DURUOHA, C., ANTUNIASSI, U. R., LANÇAS, K. P. *Estudo e mapeamento da variabilidade espacial de atributos químicos de solo para fins de agricultura de precisão*. In: BALASTREIRA, L. A. *Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1999-2001*. Piracicaba – SP. (CD-ROM). 2002.

SÁ, J.C. de M. *Curso sobre manejo de solo no sistema de plantio direto*. Castro, 1995. 337p.

SÁ, J.C.M. *Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto*. Fundação ABC. 1993, 95p.

SALET, R.L., ANGHINONI, I., KOCHHANN, R.A., KRAY, C.H., CONTE, E. Como fazer uma amostragem de solo no sistema plantio direto. In: Seminário internacional do sistema de plantio direto, 2., passo fundo, 1997. *Anais*. passo fundo, Embrapa - CNPT, p.205-7,1997.

SALVADOR, N., GRANATO, L.R.N. Avaliação de diferentes sistemas de manejo de restos culturais sobre à compactação do solo cultivado com milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, A Engenharia Agrícola – TENDÊNCIAS E INOVAÇÕES. 1999, Pelotas, RS, *Anais...* Pelotas/RS, (CD ROM). 1999.

SALVIANO, A. A. C., VIEIRA, S. R., SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos do solo e da *Crotalaria juncea* L em área severamente erodida. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 22, p.115-122, 1998.

SANTOS FILHO, A.G. dos., LANÇAS, K.P., UPADHYAYA, S.K., RIPOLI, T.C. Avaliação da compactação do solo, pelo método do índice de cone para as culturas de tomate industrial e

cártamo (*Cartamus trictorius*) em áreas de produção comercial. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 25., Bauru, SP, 1996. *Anais*. Bauru, SP. McA232 (CD ROM). 1996.

SANTOS, H. P., TOMM, G. O., LHAMBY, J. C. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.19, p.449-454, 1995.

SARAIWA, A. M., CUGNASCA, C. E., HIRAKAWA, A. R. *Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes*. In: BOREM, A., GIÚDICE, M. P., QUEIROZ, D. M., MANTOVANI, E. C., FERREIRA, L. R., VALLE, F. X. R., COMIDE, R. L. Agricultura de Precisão. Viçosa, UFV, 2000, p. 109-145.

SARAIWA, A.M., CUGNASCA, C.E. Sistemas para agricultura de precisão: equipamentos e programas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, Mecanização e Agricultura de Precisão. 1998, Poços de Caldas, MG, *Anais...* Resumo expandido. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. Cap. 5. p. 159-202.

SCHICK, J., BERTOL, I., BALBINOT JÚNIOR, A. A., & BATISTELA, O. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I Perdas de solo e água. *R. Bras. Ci. Solo*, v:24, p.427-436. 2000a.

SCHICK, J., BERTOL, I., BALBINOT JÚNIOR, A. A., & BATISTELA, O. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II Perdas de nutrientes e carbono orgânico. *R. Bras. Ci. Solo*, v:24, p.437-447. 2000b.

SCHIRIMANDEIRO, A., WEIRICH NETO, P. H. *Variabilidade espacial de argila e silte conforme métodos de interpolação*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30, CONBEA 2001, Foz de Iguaçu – PR,(CD-ROM). 2001.

SCHUELLER, J.K. A review and integrating analysis of spatially – variable crop control production. *Fertilizer research*, v.33, p.1-33, 1992.

SILVA Jr, R. L. da.; MOLIN, J. P. Variabilidade espacial do índice de cone correlacionada com mapas de produtividade. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30 – CONBEA 2001, Foz de Iguaçu – Paraná. *CD-ROM*. 2001.

SILVA, A. P. *Influência da compactação nas propriedades físicas do solo e no sistema radicular de plântulas de algodão (Gossypium hirsutum L.)*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, (Dissertação Mestrado), 1984, 75p.

SILVA, A.P., LIBARDI, P.L., CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 10 p. 91-95, 1986.

SILVA, A.P., LIBARDI, P.L., VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho-Escuro ao longo de uma transeção. *R. Bras. Ci. Solo*, v.13, p. 1-5, 1989.

SILVA, C. A., BERNARDI, A. C. de C., VALENCIA, L. I. O., MACHADO, P. L. O. de. *Variabilidade de atributos de acidez do solo e espacialização da necessidade de calagem de área de soja sob plantio direto*. In: BALASTREIRA, L. A. Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1999-2001. Piracicaba – SP. (CD-ROM). 2002.

SILVA, F. C. da. *Manual de análise químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

SILVA, J. R. C., MELO FILHO, J. F. Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um podzólico vermelho amarelo no Ceará. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.17, p.291-297, 1993.

SILVA, M.S., SILVA, C.J., COSTA, L.A.M., ZUCARELI, C., MATTER, U.F., PELÁ, A., DECARLI, L.D. Influência de diferentes tipos de adubação na resistência à penetração (IC) de um latossolo roxo eutrófico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, A Engenharia Agrícola – TENDÊNCIAS E INOVAÇÕES. 1999, Pelotas, RS, *Anais...* Pelotas/RS, (CD ROM). 1999.

SIQUEIRA, J.A.C., PEREIRA, J.O., URIBE-OPAZO, M.A., MOREIRA, C.R., BORTOLOTTI, V.C., STIPP, O.J. Avaliação da resistência do solo à penetração em três teores de água, sob dois sistemas de cultivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, A Engenharia Agrícola – TENDÊNCIAS E INOVAÇÕES. 1999, Pelotas, RS, *Anais...* Pelotas/RS, (CD ROM). 1999.

SIRIDAS, N., PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 9, p. 249-254, 1985.

SOUZA, E. G.; JOHANN, J. A.; ROCHA, J. V.; RIBEIRO, S. R. A.; SILVA, M. S.; URIBE-OPAZO, M. A.; MOLIN, J. P.; OLIVEIRA, E. F.; NÓBREGA, L. H. P. Variabilidade espacial dos atributos químico do solo em um latossolo roxo distrófico da região de Cascavel – PR. *Engenharia Agrícola*. v. 18, p. 45-94, 1985.

SOUZA, L. da S., COGO, N.P., VIEIRA, S.R. Variabilidade de fatores de acidez no solo em diferentes sistemas de manejo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12. 1998. Fortaleza/Ceará. *Resumos expandidos*. Sociedade Brasileira Ciências do Solo. Universidade Federal do Ceará. 1998. p.46-47.

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

SOUZA, L. da. S., DINIZ, M. da. S., CALDAS, R. C., Correção da interferência da variabilidade do solo na interpretação da variabilidade do solo na interpretação dos resultados de um experimento de cultivares de clones de mandioca. *R. Bras. Ci. Solo*, v.20, p.441-445, 1996.

STAFFORD, J. V. Essential technology for precision agriculture. In: International Conference on Precision Agriculture, 3., Minneapolis, 1996. *Precision Agriculture: proceedings*, Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1996, p. 595-604.

STOLF, R. Fórmulas de transformação dos dados do penetrômetro de impacto em força/unidade de área. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 19., Piracicaba, SP. 1990. *Anais*. Piracicaba, SP. p. 825-38. 1990.

STOLF, R., FERNANDES, J., FURLANI NETO., V. L. Penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR – STOLF: recomendação para seu uso. *STAB*. Piracicaba. v. 1, n.3, 1983.

SURFER. *Surface mapping system - Version 6.01*. Colorado, 1995.

SVERZUT, C. B., DANIEL, L. A., PECHE FILHO, A., GOMES, J. A., KLIMIONTE, M. A., VIEIRA, R. C. S., MANTOVANI, E. C., MAFFIAZZI JUNIOR, H., SANTOS NETO, C. R., COSTA, C. M. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho distrófico em função de diferentes formas de preparo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30 – CONBEA 2001, Foz de Iguaçu – Paraná. *CD-ROM*. 2001.

TORMENA, C. A., ROLOFF, G. & SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *R. Bras. Ci. Solo*, v:22, p.301-309. 1998.

TORMENA, C. A., ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.20, p.333-339, 1996.

TORRE NETO, A. Conceitos, princípios, vantagens e potencialidade de aplicação da agricultura de precisão. In: Seminário internacional do sistema de plantio direto, 2., passo fundo, 1997. *Anais*. passo fundo, Embrapa CNPT, p.37-42, 1997.

TRANGMAR, B.B., YOST, R.S., WADE, M.K., UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agron.*, 38, p.45-94, 1985.

TREIN, C.R., COGO, N.P., LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo, na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.15, p.105-11, 1991.

VIEIRA, S. R. *Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo*. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V. H., SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, v. 1. p. 1-53.

VIEIRA, S. R., DECHEN, S. C. F., MARIA, I. C. de., MARTINS, A. L. M., BORTOLETTO, N. *Mapeamento de atributos de solo e planta usando geoestatística*. In: Balastreire, L. A. Estudo-da-arte em agricultura de precisão no Brasil, Piracicaba, 2000a. p.93-104.

VIEIRA, S. R., HATFIELD, J. L., NIELSON, D. R., BIGGAR, J. W. *Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties*. Hilgardia, 1983, p. 75.

VIEIRA, S. R., MARIA, I. C. de., MOLIN, J. P., CANTARELLA, H., FREITAS, J. G. Influência do método de análise dos dados de campo na elaboração de mapas de fertilidade do solo visando à agricultura de precisão. In: Balastreire, L. A. Estudo-da-arte em agricultura de precisão no Brasil, *Resumo*. Piracicaba, 2000b. p.142.

WEBSTER, R e OLIVER, M.A. *Statistical methods in soil and land resource survey*. Oxford University Press, 1990. 316p.

WIETHÖLTER, S. Histórico e perspectiva da prática de calagem no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. *Anais*. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. (CD-ROM).

YANAI, J., LEE, C. K., KAHO, T., IIDA, M., MARSUI, T., UMEDA, M., KOSAKI, T. Geoestatistical analysis of soil chemical properties and rice yield in a paddy field and application to the analysis of yield determining tractors. *Soil Science and Plant Nutrition*. v. 47. p. 291-301. 2001.

YANG, C., ANDERSON, G. L. , KING JR., J.H., CHANDLER, E. K. Comparasion of uniform and variable rate fertilization strategies using grid soil sampling, variable rate technology and yield monitoring. International conference on precision agriculture, 4, 1998, St. Paul-Minessota. Proceedings... St. Paul, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, 1998. p. 675-687.

ZAFFARONI, E., BARROS, H.H.A., NÓBREGA, J.A.M., LACERDA, J.T., SOUZA Jr., V.E. Efeito de métodos de preparo do solo na produtividade e outras características agronômicas de milho e feijão no nordeste do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.15, p.99-104, 1991.

ZIMBACK, C. R. L. *Análise especial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade dos solos*. 114f. Tese (livre-docência) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2001.

ANEXO

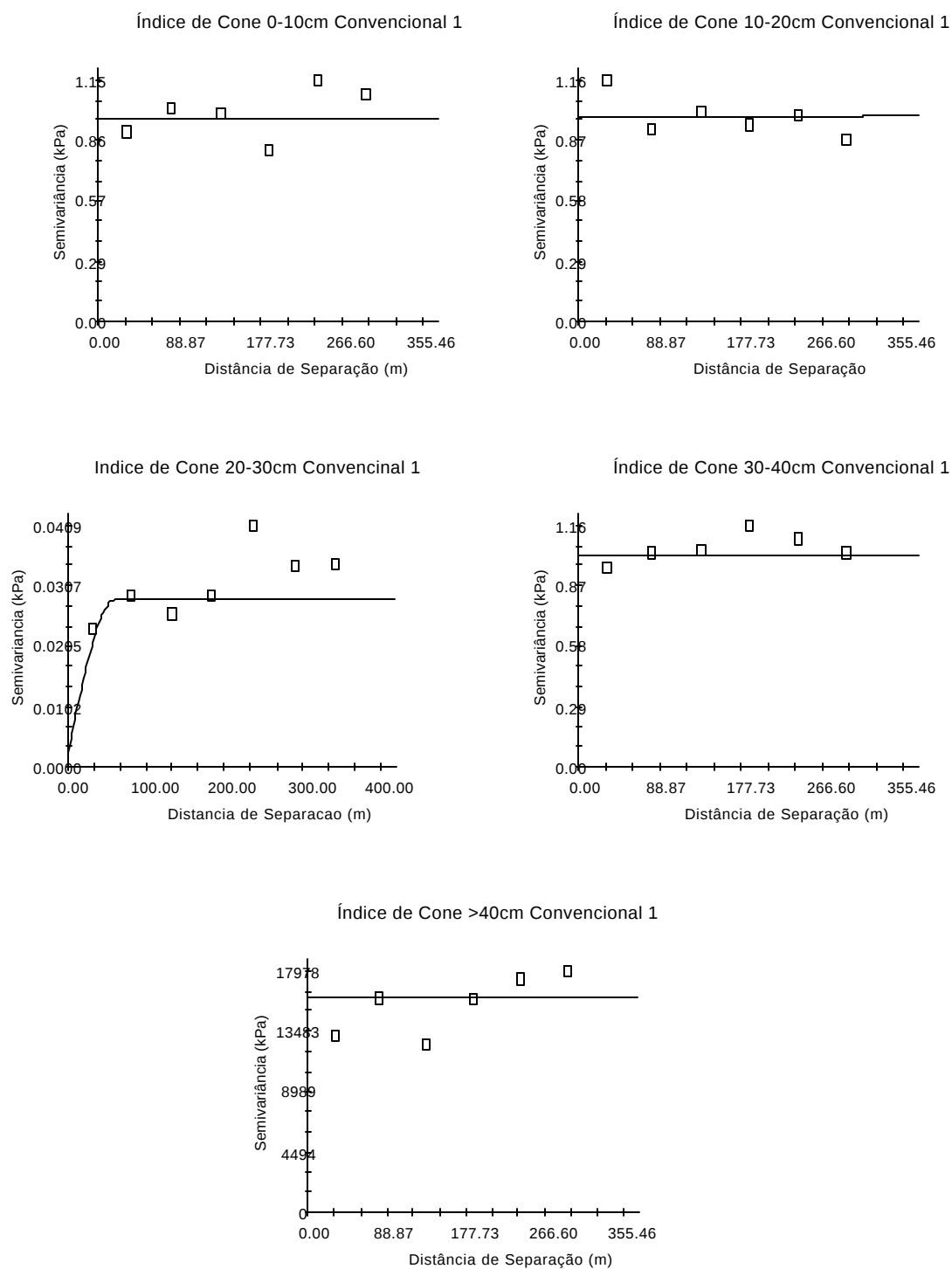


FIGURA 5. Semivariogramas de índice de cone na área de plantio convencional 1 em diferentes profundidades.

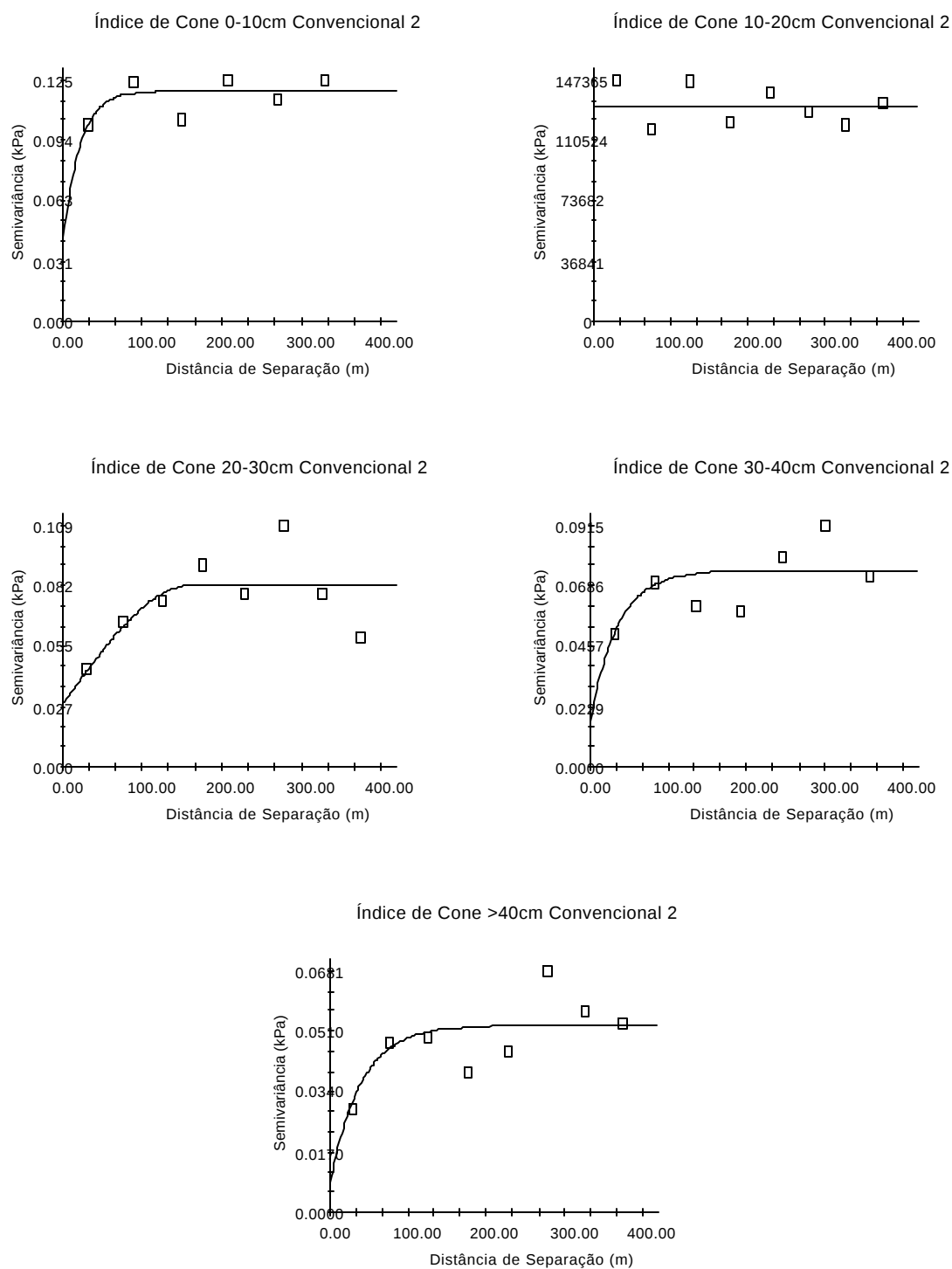


FIGURA 6. Semivariogramas de índice de cone na área de plantio convencional 2 em diferentes profundidades.

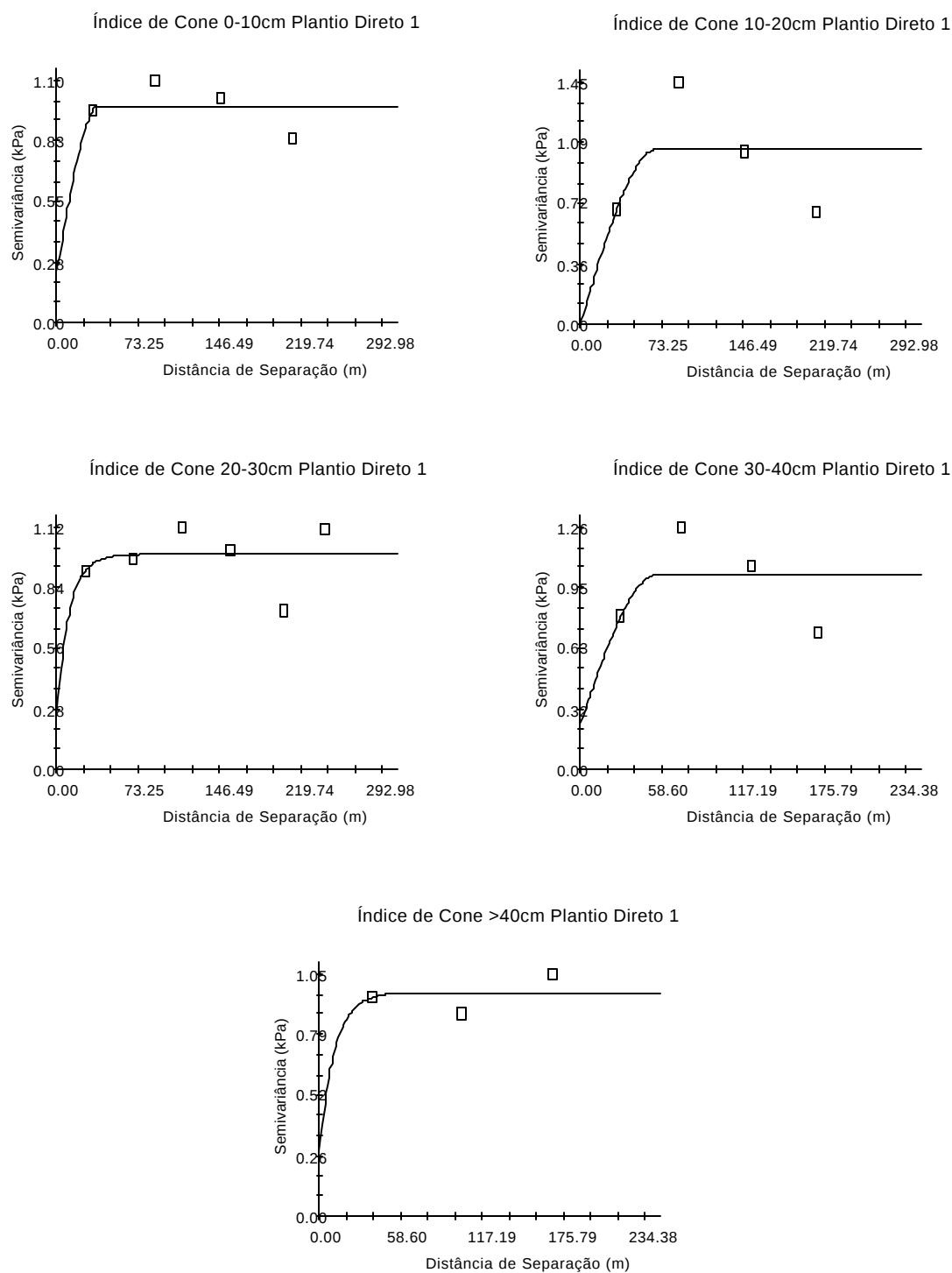


FIGURA 7. Semivariogramas de índice de cone na área de plantio direto 1 em diferentes profundidades.

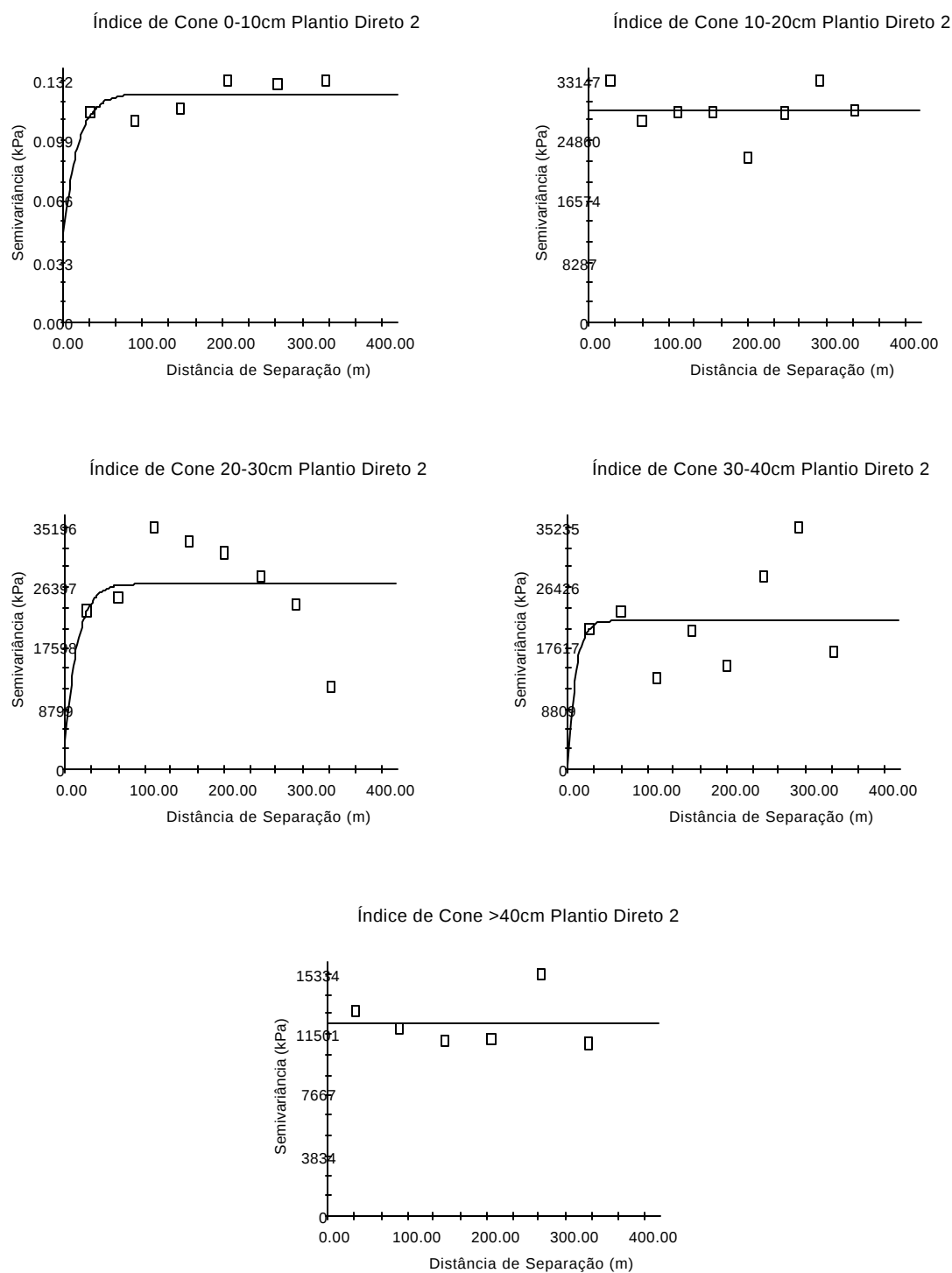


FIGURA 8. Semivariogramas de índice de cone na área de plantio direto 2 em diferentes profundidades.

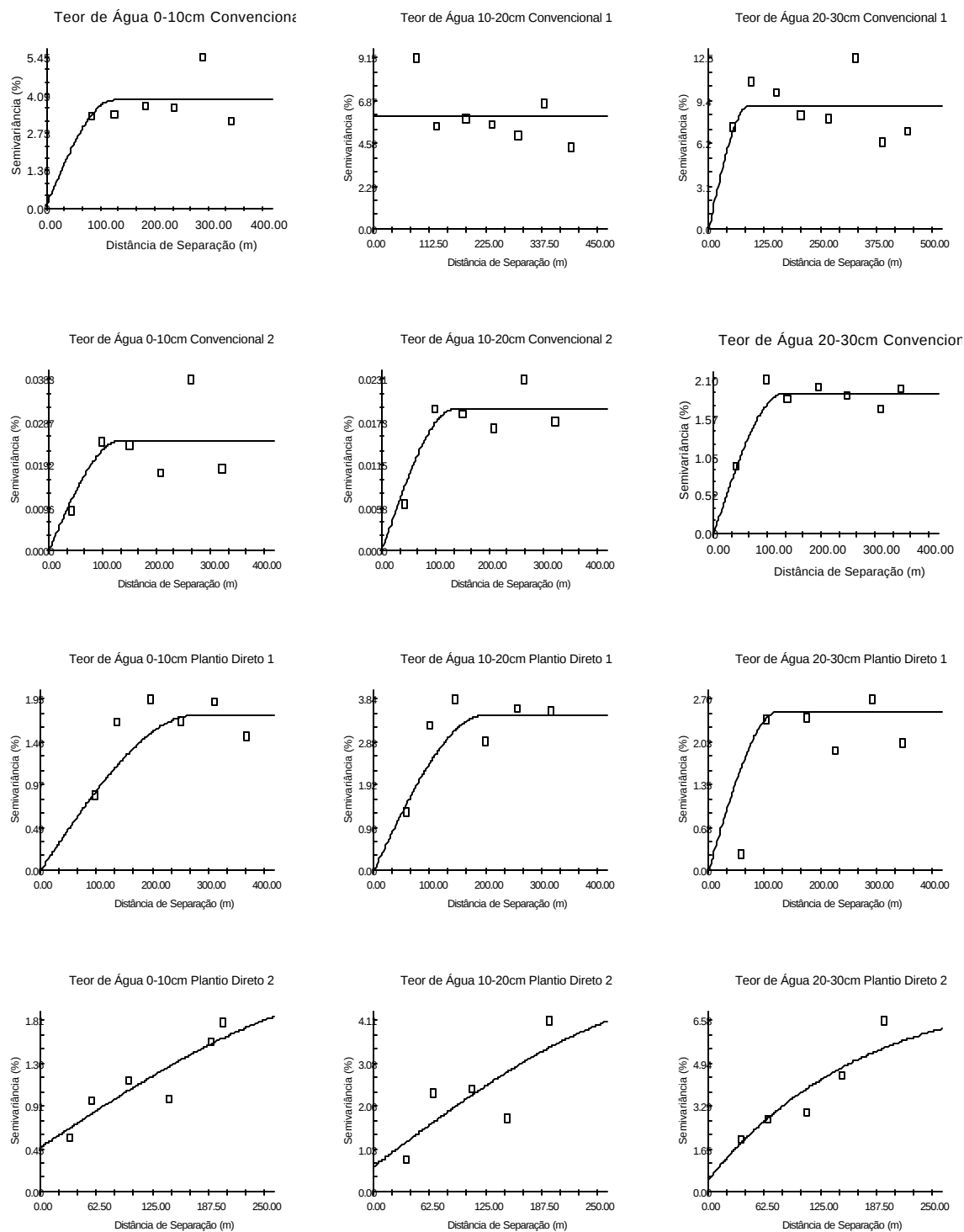


FIGURA 9. Semivariogramas dos teores de água no solo nos diferentes tipos de manejo e em diferentes profundidades.

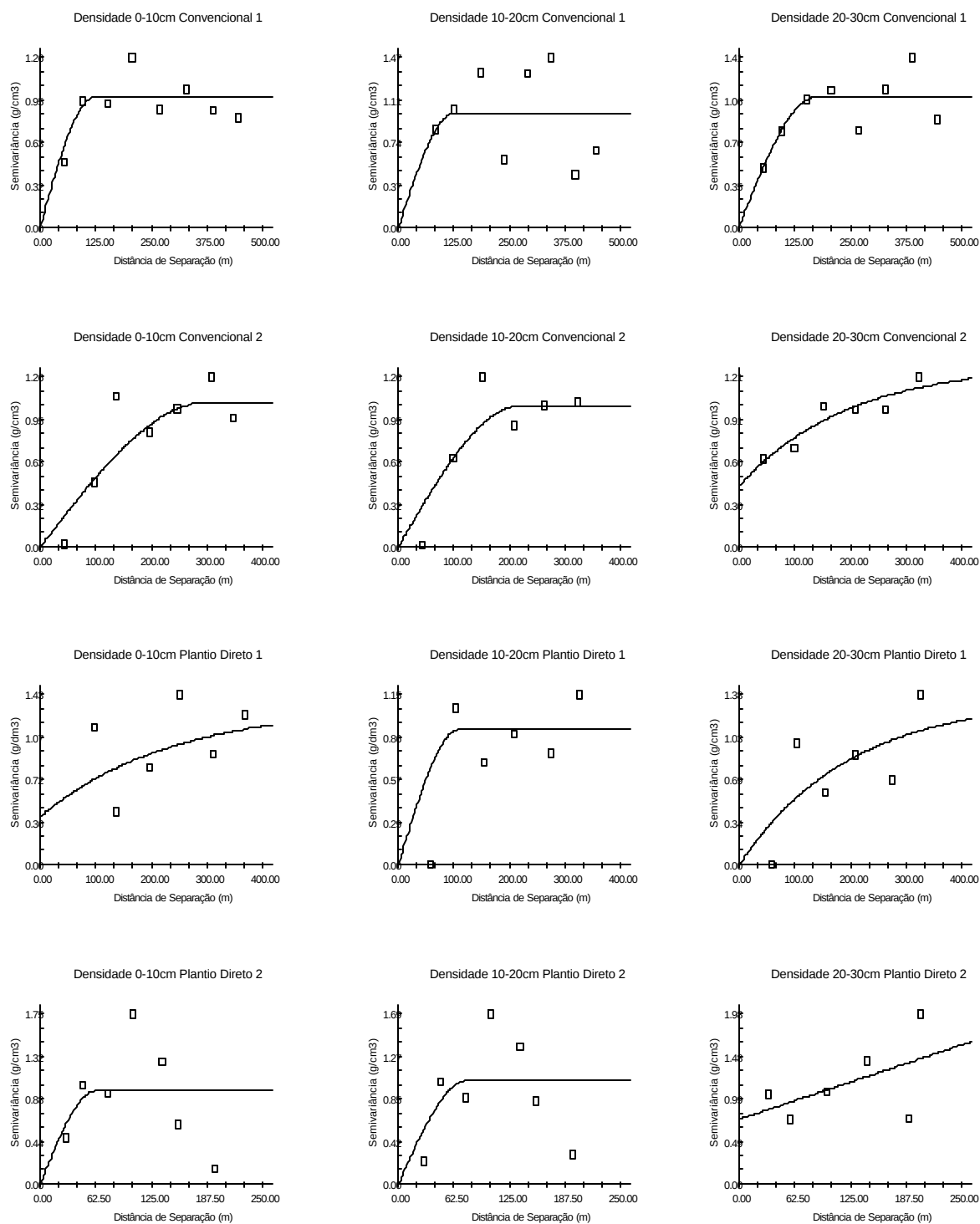


FIGURA 10. Semivariogramas de densidade do solo nos diferentes tipos de manejo e em diferentes profundidades.

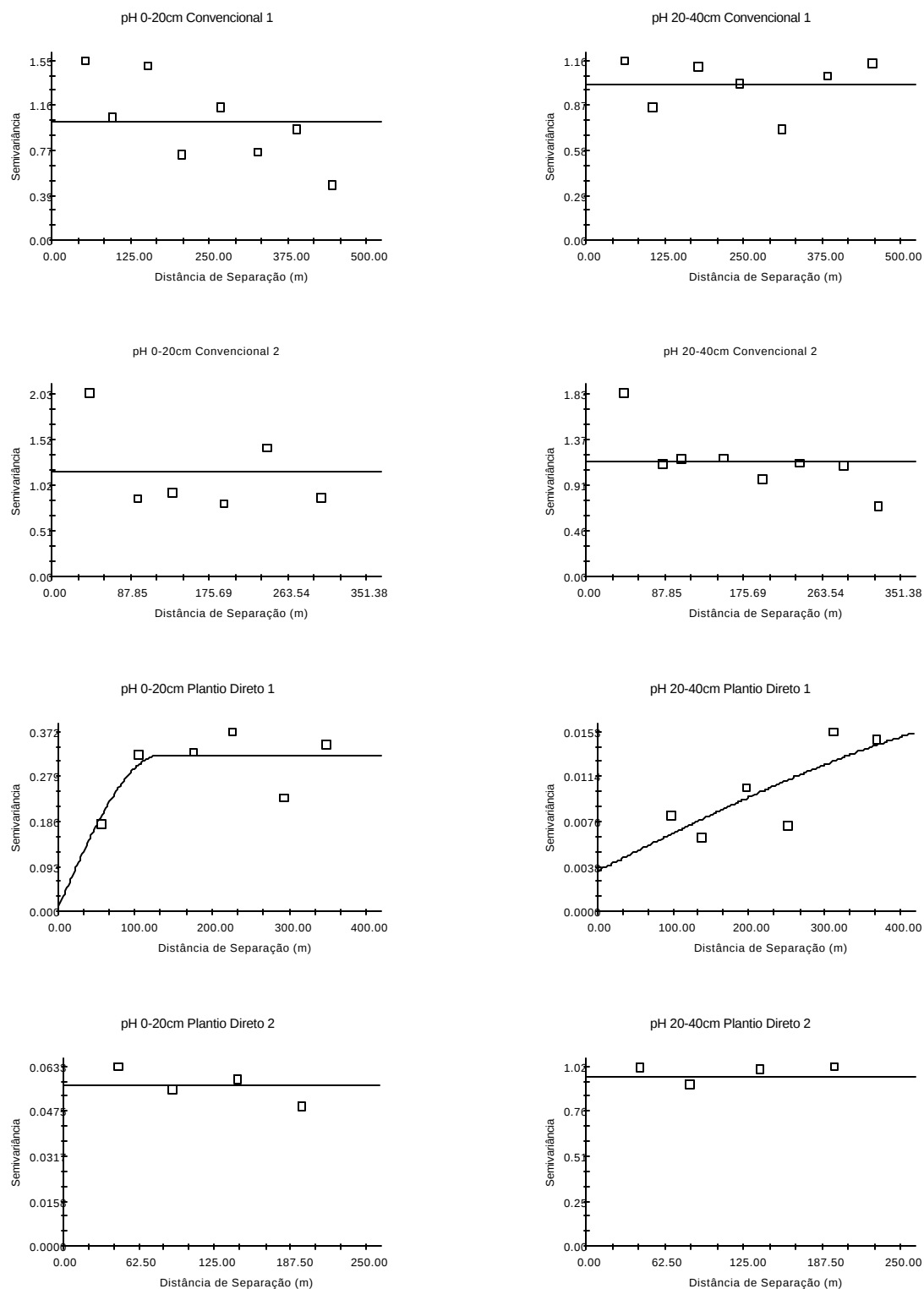


FIGURA 11. Semivariogramas de pH do solo nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm.

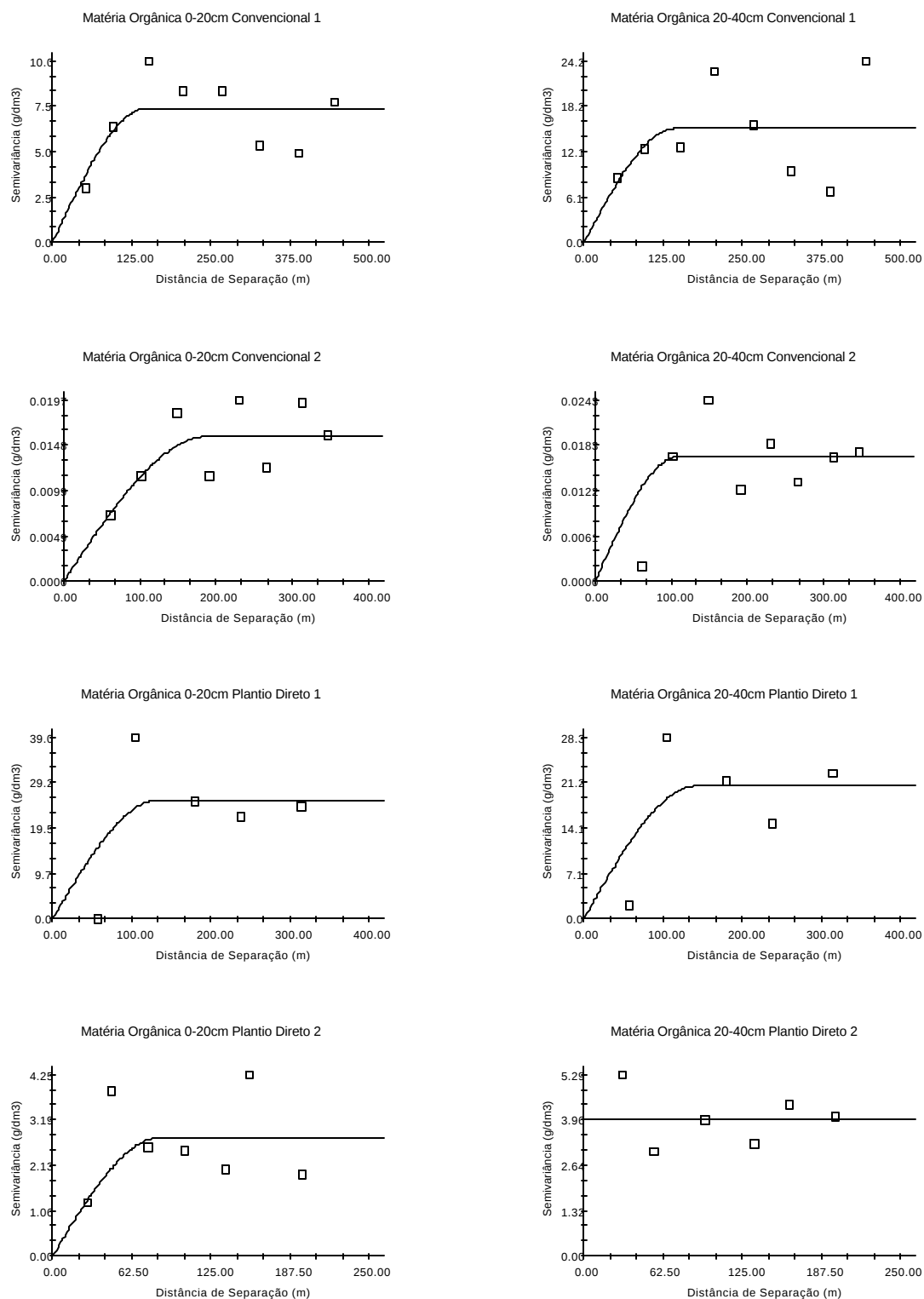


FIGURA 12. Semivariogramas de matéria orgânica do solo nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm.

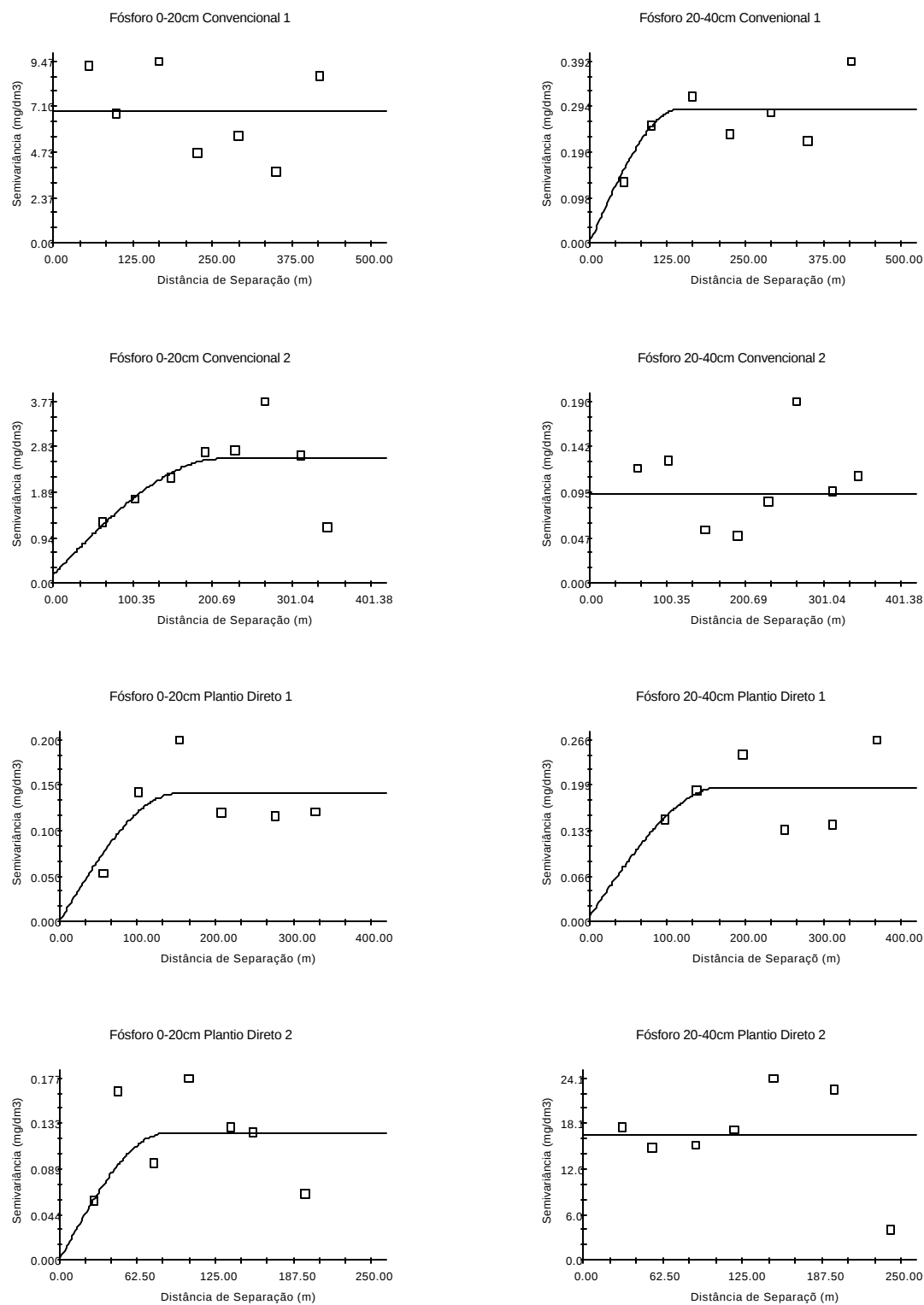


FIGURA 13. Semivariogramas de fósforo do solo nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm.

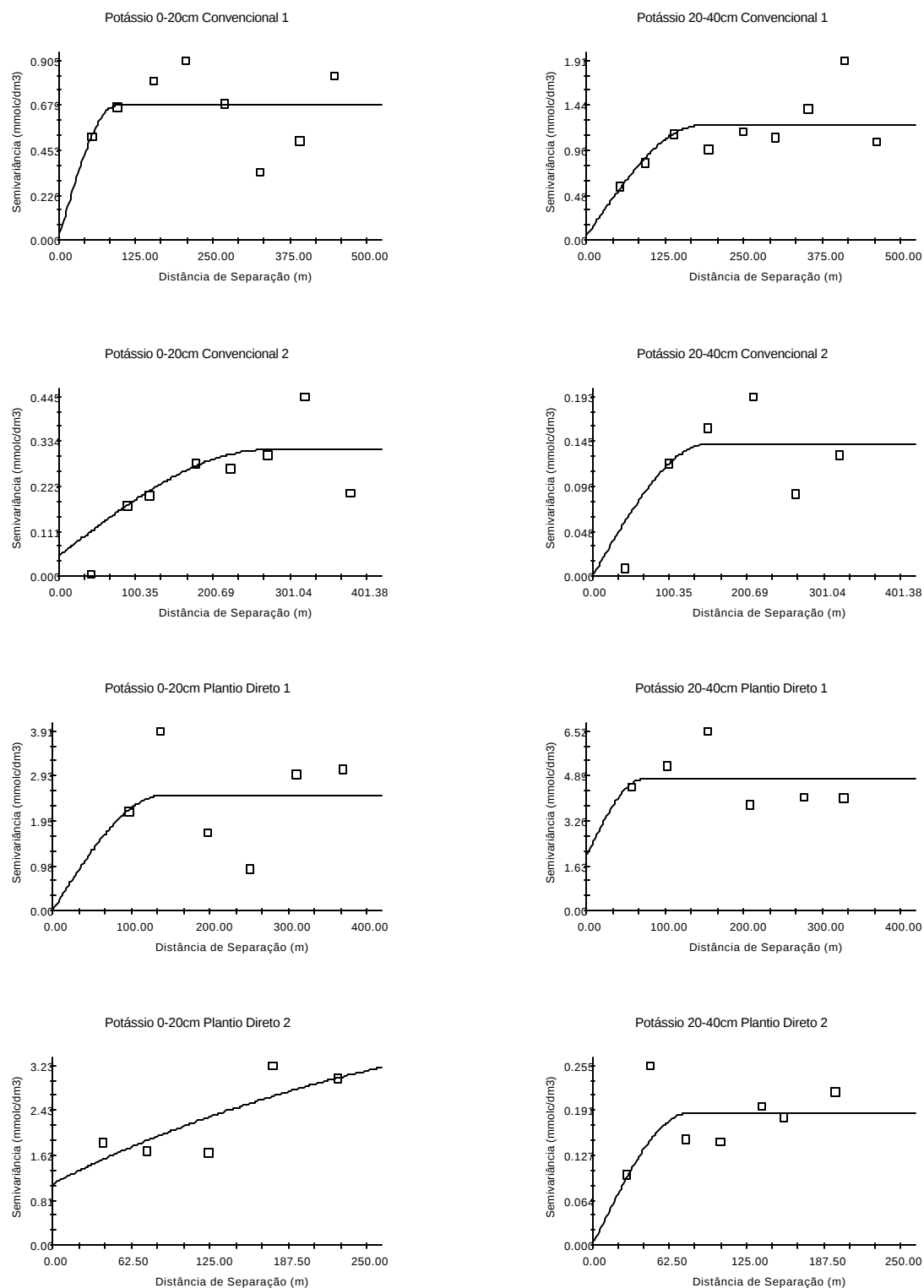


FIGURA 14. Semivariogramas de potássio do solo nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm.

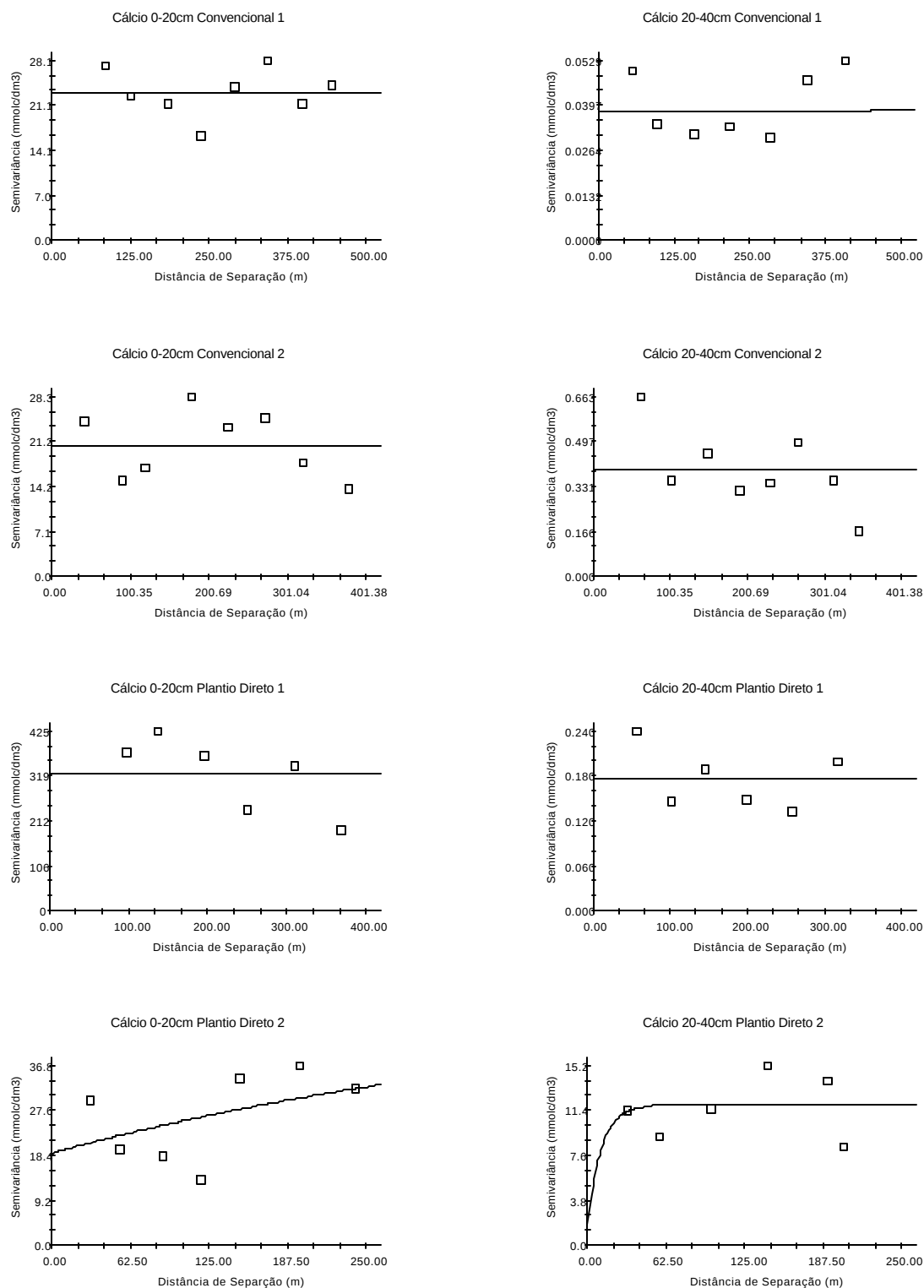


FIGURA 15. Semivariogramas de cálcio do solo nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm.

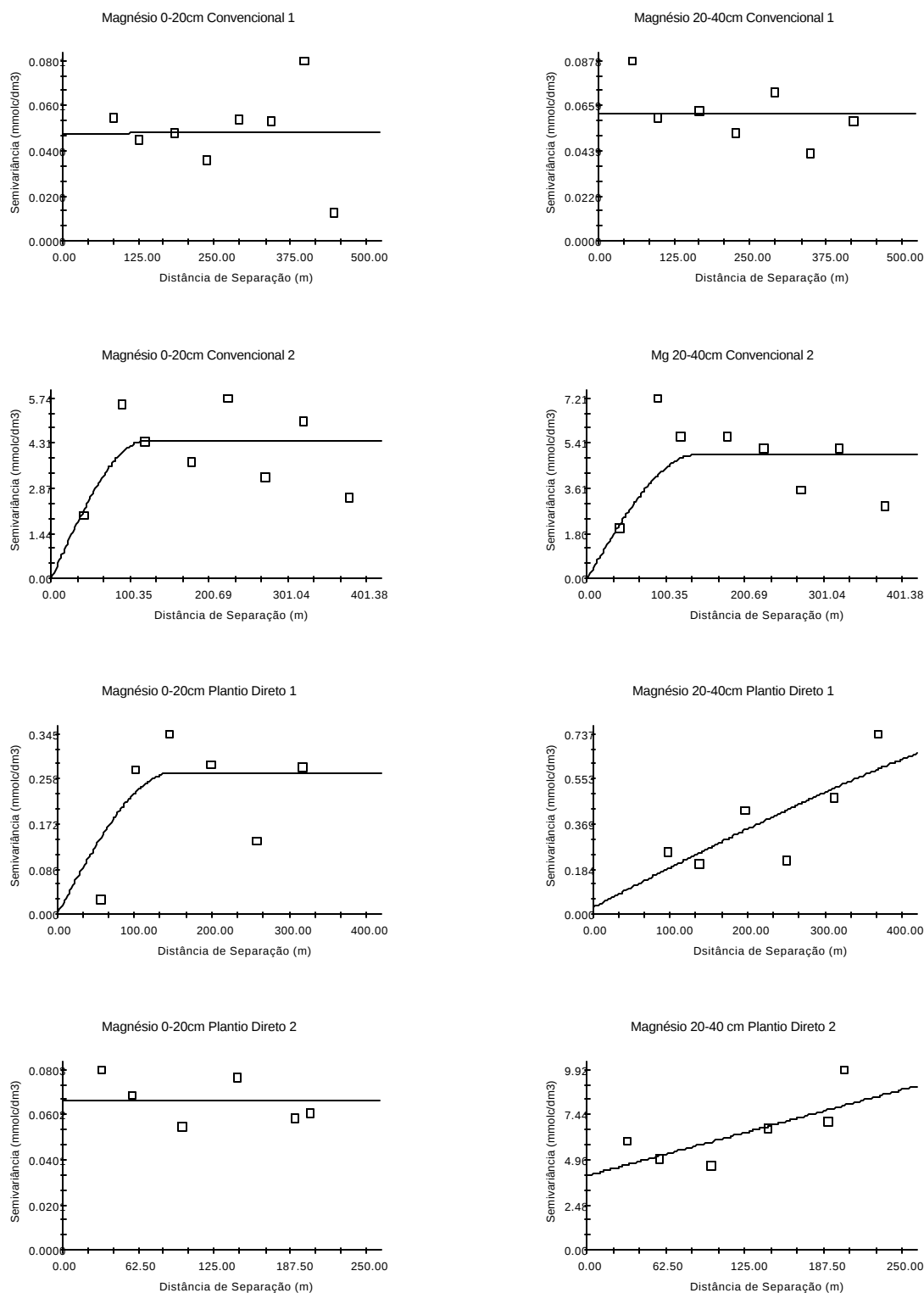


FIGURA 16. Semivariogramas de magnésio do solo nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm.

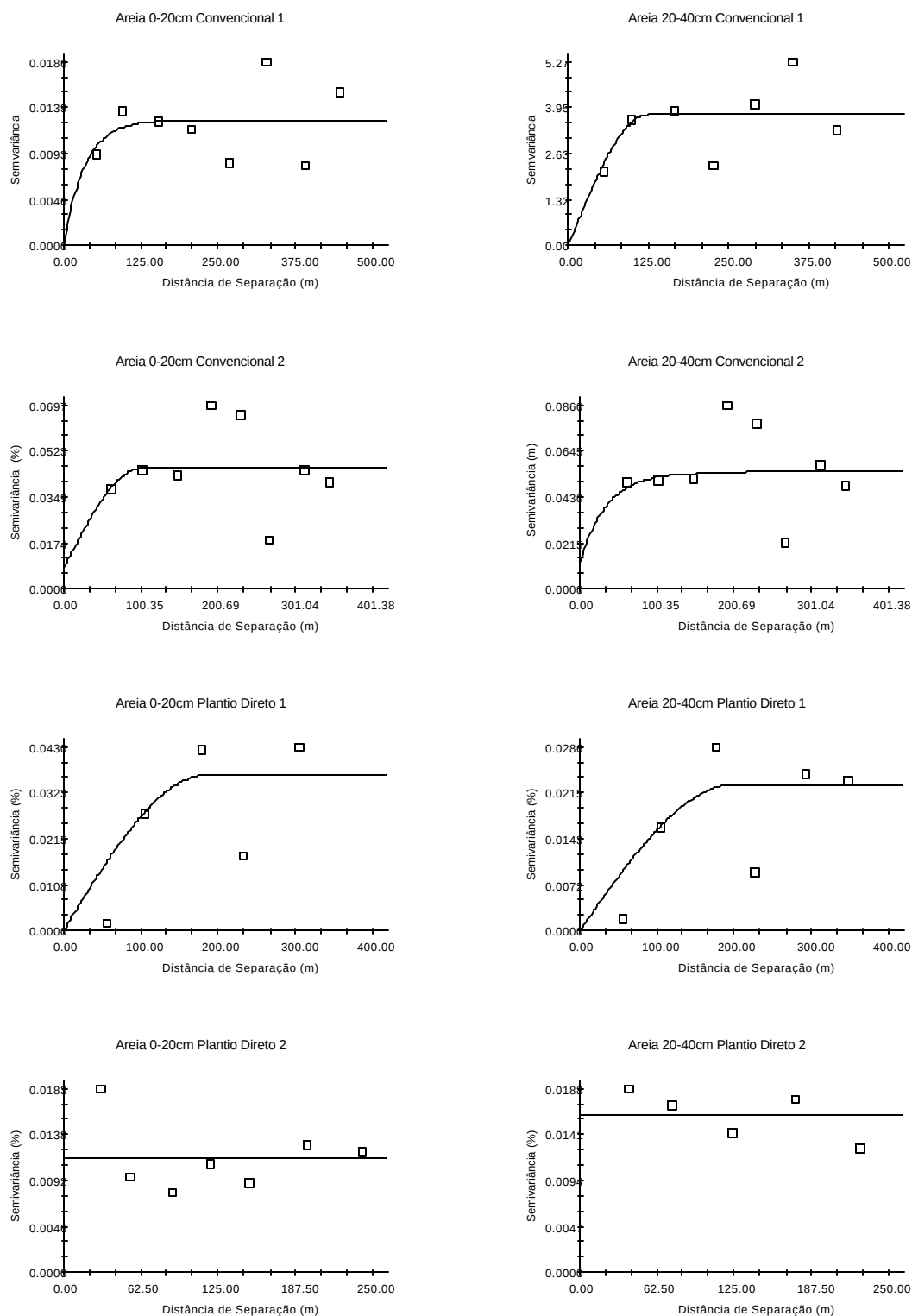


FIGURA 17. Semivariogramas da porcentagem de areia do solo nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm.

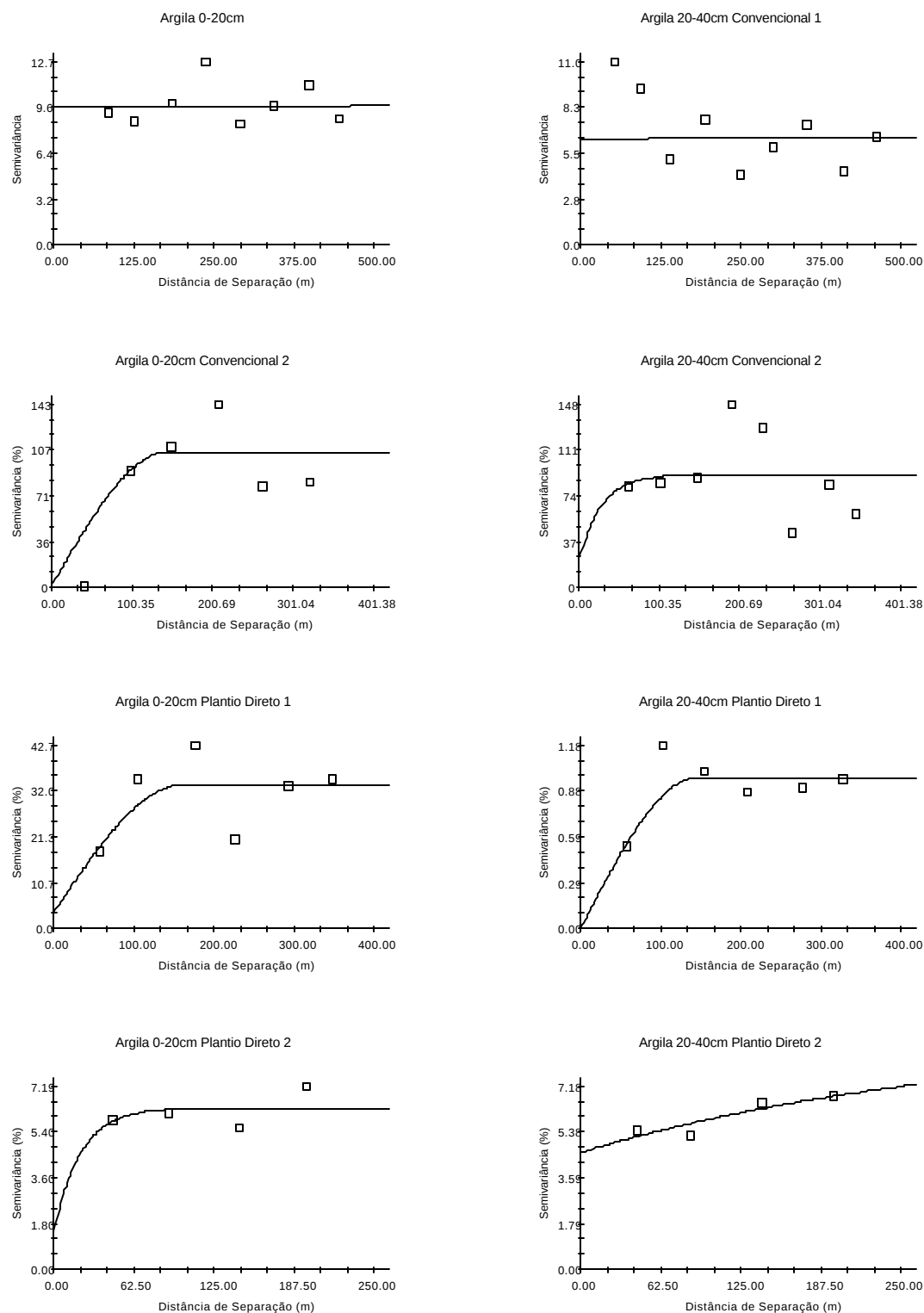


FIGURA 18. Semivariogramas da porcentagem de argila do solo nos diferentes tipos de manejo e nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm.