

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**PERFIL DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO
EM SISTEMAS COM ROTAÇÃO DE CULTURAS**

CARINE GONZATTO

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2016**

PERFIL DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM SISTEMAS COM ROTAÇÃO DE CULTURAS

Carine Gonzatto

Orientador: PROF. DR. JORGE WILSON CORTEZ

Co-orientador: PROF. DR. LUIZ CARLOS FERREIRA DE SOUZA

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Universidade Federal da Grande
Dourados, como parte das exigências do
Curso de Graduação em Engenharia
Agrônoma.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

G643p GONZATTO, CARINE
PERFIL DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM
SISTEMAS COM ROTAÇÃO DE CULTURA / CARINE GONZATTO --
Dourados: UFGD, 2016.
34f. : il. ; 30 cm.

Orientador: JORGE WILSON CORTEZ
Co-orientador: LUIZ CARLOS FERREIRA DE SOUZA

TCC (graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias,
Universidade Federal da Grande Dourados.
Inclui bibliografia

1. COMPACTAÇÃO. 2. GEOESTATÍSTICA. 3. AGRICULTURA DE
PRECISÃO. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

**PERFIL DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM SISTEMAS COM
ROTAÇÃO DE CULTURAS**

por

Carine Gonzatto

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC apresentado como parte dos requisitos exigidos
para obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÔNOMO

Aprovado em 13/04/2016



Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez

Orientador – UFGD/FCA



Profa. Dra. Elaine Reis Pinheiro Lourente

UFGD/FCA



Eng. Agric. Igor Queiroz Moraes Valente

Mestrando UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

A Deus por ser essencial em minha vida, meu guia me dando forças nessa caminhada.

A meus pais por acreditarem em mim, pois foi com o cuidado e dedicação de vocês que me deram esperança para seguir em frente.

Ao meu filho Gustavo que é a essência de tudo que sou o motivo de perseverança, e o verdadeiro significado da palavra amor.

O que dizer a você Evandro pessoa com quem amo compartilhar a vida. Com você descobri o amor verdadeiro. Obrigado por sua paciência e capacidade de me trazer paz.

Ao meu irmão Jerônimo e á Eveline por fazerem parte de minha vida tão intensamente, por serem mais do que família, mais sim meus eternos e verdadeiros amigos.

A Irene e Wilton que me acolheram por tantos anos em sua residência fazendo sentir-me parte da família, me dando apoio e aconselhando. Ás suas filhas Juliana e Silvia minhas grandes amigas e parceiras.

Finalmente mas não menos importante ao professor Jorge que me auxiliou fazendo a semente germinar e dar origem a esse trabalho, e a sua equipe de pós graduação que estiveram do meu lado ajudando na conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

| | Páginas |
|--|----------------|
| RESUMO..... | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 6 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 7 |
| 2.1 Compactação do solo em sistema plantio direto..... | 7 |
| 2.2 Rotação de culturas..... | 8 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 10 |
| 3.1 Local..... | 10 |
| 3.2 Delineamento experimental..... | 10 |
| 3.3 Atributos do solo..... | 12 |
| 3.3.1 Umidade do solo..... | 12 |
| 3.3.2 Resistência mecânica do solo à penetração..... | 12 |
| 3.4 Análise dos dados..... | 13 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 14 |
| 4.1 Estatística descritiva..... | 14 |
| 4.2 Semivariogramas..... | 15 |
| 4.3 Mapas de isolinhas..... | 17 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 23 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 24 |

GONZATTO, C. **Perfil da resistência do solo à penetração em sistemas com rotação de culturas.** 2016. 28f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS.

RESUMO

Sistemas sem revolvimento do solo se não manejados corretamente, e rotação de culturas adequadas, pode favorecer o aparecimento da compactação do solo. Assim, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial da resistência mecânica à penetração em um perfil transversal do solo em área com sistemas de rotação de culturas. A coleta de dados ocorreu no município de Dourados MS, Brasil especificamente na Fazenda Experimental da UFGD. O experimento foi montado no delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições e 26 tratamentos (rotações). Foi utilizado um penetrômetro de impacto até a profundidade de 0,60 m utilizando uma malha amostral com 42 pontos sendo 0,45 m de largura por 0,10 m de profundidade. Posteriormente a coleta os dados foram analisados pela estatística descritiva e pela geoestatística para confecção dos mapas de variabilidade espacial da resistência no perfil do solo. Espera-se com os dados poder prever ações de subsolagem e indicar qual o melhor sistema de rotação de cultura para promover a descompactação biológica.

Palavras-chave: compactação, geoestatística, agricultura de precisão.

GONZATTO, C. Soil resistance to penetration profile on systems with crop rotation. 2016. 28f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS.

ABSTRACT

Without soil tillage systems are not managed properly, and rotation of appropriate crops may favor the onset of soil compaction. The objective was to evaluate the spatial variability of penetration resistance in a cross from the soil profile in area with crop rotation systems. Data collection occurred in the municipality of Dourados MS, Brazil specifically at the Experimental Farm UFGD. The experiment was conducted in the design of randomized blocks with four replications and 26 treatments (rotations). It used a penetrometer impact to a depth of 0.60 m using a sampling grid with 42 points and 0.45 m wide and 0.10 m deep. Subsequently collecting the data were analyzed by descriptive statistics and geostatistics for making the maps of spatial variability of resistance in the soil profile. It is hoped that the data can predict subsoiling actions and indicate what the best crop rotation system to promote organic unzipping.

Keywords: compression, geostatistics, precision agriculture.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da demanda mundial por alimentos tem alavancado a corrida do setor agrícola por melhores produtividades, assim as commodities têm ganhado a preferência dos agricultores, gerando a monocultura.

As práticas de semeadura direta atualmente estão limitadas a uma sucessão de culturas sendo esta definida como um ordenamento em uma determinada área agrícola por tempo indeterminado utilizando duas culturas, sendo que cada uma delas posicionada em uma estação do ano. Franchini et al. (2011) afirmam que por serem economicamente viáveis, desta maneira a rotação de cultura tem ficado cada vez mais de lado com a intensificação das áreas exploradas. Segundo Altieri (2002) a influência da rotação de cultura ocorre devido à promoção do equilíbrio da fertilidade do solo para uma eficiente exploração agrícola, sendo que por meio da decomposição das raízes ocorre a estimulação de crescimento dos microrganismos, e a liberação de substâncias químicas através da decomposição dos restos culturais.

Além do problema da sucessão na semeadura direta, o tráfego intenso de máquinas tem favorecido as alterações da parte física do solo originando as camadas compactadas, prejudicando o desempenho adequado da lavoura. Portanto mesmo em solos com os fatores químicos adequados, se ocorre à compactação as plantas não se beneficiam quanto a absorção dos nutrientes, uma vez que, prejudica o desenvolvimento de novas raízes, e é nelas que ocorre a maior taxa de absorção. Além disso, com a compactação, diminuem os espaços livres do solo, e em consequência, a quantidade de água e oxigênio disponível, podendo ser limitante para o desempenho dos processos metabólicos da planta (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000).

Desta maneira, o estudo da resistência a penetração mostra-se uma ferramenta adequada para expressar o grau de compactação do solo, e com isso tem-se a esquematização de como está ocorrendo o desenvolvimento radicular das plantas (SILVEIRA et al., 2010). Sendo que está ligado diretamente a vários atributos e condições do solo como textura, densidade, matéria orgânica, e a principal condição que é a umidade em que se encontra no momento da determinação (BUSSCHER et al., 1997; STOLF et al., 1983).

Portanto, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial da resistência mecânica à penetração em um perfil transversal do solo em área com sistemas de rotação de culturas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Compactação do solo em sistema plantio direto

O sistema de semeadura direta veio como uma opção aos modelos de agricultura convencional visando diminuir a movimentação do solo obtendo melhores qualidades físicas, porém mesmo com toda sua importância para a produção agrícola, poucos agricultores realizam em sua essência, sendo realizando apenas a famosa sucessão de culturas, havendo então a necessidade de repensar a maneira como as atividades estão sendo realizadas, em função da viabilidade para o meio ambiente. (MACIN, 2007)

Devido ao aumento das atividades agropecuárias houve uma maior pressão pelo uso do solo, sendo realizado muitas vezes de maneira inadequada ocasionando compactação e a erosão agrícola, desta maneira ocorre não só o enfraquecimento do solo devido a perda nutricional e de matéria orgânica, mas também a contaminação dos recursos hídricos (MACEDO et al., 2009)

A utilização de equipamentos agrícolas proporciona aumentos da produção, resultado do trabalho operacional e eficiente. No entanto, a mecanização é responsável pela deterioração mais rápida das condições físicas do solo, sendo que o tráfego excessivo, sem o controle das diversas condições do solo, é o principal responsável pela compactação ocasionada pelas forças mecânicas, tanto pelo exagerado número de operações como pelo simples tráfego do trator sobre o solo (Suzuki, 2005, apud Beltrame e Taylor, 1980).

A umidade no momento do preparo é fator fundamental a ser observado para o manejo adequado do solo, desta maneira para o preparo com arado e a grade, são levados em consideração a umidade ideal a faixa variável de 60% a 70% da capacidade de campo, para solos argilosos, e de 60% a 80%, para solos arenosos, ou seja, quando o solo estiver na faixa de umidade friável EMBRAPA (2004).

Os níveis de compactação do solo devem ser verificados, acompanhando com avaliações no intuito de eliminar, ou ao menos minimizar os efeitos negativos que afetam diretamente a produção agrícola. As mudanças que ocorrem na estrutura do solo se originam naturalmente, no qual temos a porosidade e a permeabilidade reduzida (SOANE E OUWERKERK, 1994)

A avaliação dos níveis de compactação do solo é de fundamental importância, buscando prevenir ou minimizar seus efeitos negativos na produtividade agrícola. Intensificado pelo uso inadequado de máquinas agrícolas, e tem como consequência a porosidade e permeabilidade reduzidas, a resistência é aumentada e muitas mudanças são provocadas na estrutura do solo e em várias características de seu comportamento (SOANE E OUWERKERK, 1994).

2.2 Rotação de culturas

No intuito de conseguir alcançar grandes produções vale salientar que, alguns fatores que acabam limitando o máximo desempenho das culturas, dentre os problemas causados por bactérias, fungos, nematoides e vírus. (SINCLAIR E HARTMAN, 2008). Ainda segundo Adami et al., (2006) a rotação pode auxiliar no controle da antracnose.

Rotação de cultura trata-se de sistema no qual são utilizadas diferentes espécies numa sequência definida (PAGE, 1972), A diversificação de culturas é um alicerce estrutural no que diz respeito à rotação, na busca de uma maior rentabilidade e estabilidade produtiva. Culturas anuais que são aquelas mais utilizadas e como foco de produtoras de grãos, associadas a espécies que visam auxiliar a recuperação do solo, são condições básicas para um adequado sistema de produção. (GONÇALVES et al., 2007).

A utilização de plantas com diferentes hábitos de crescimento, grau de sombreamento e estruturas radiculares, possibilita o uso adequado dos recursos ambientais, como nutrientes, água e radiação solar, permitindo também a utilização máxima dos recursos naturais (ALTIERE, 2002).

O planejamento de culturas, introduzidas em um sistema de rotação, podem auxiliar a manutenção dos níveis de carbono no solo oriundos das grandes quantidades de material vegetal, principalmente pela elevada produção de resíduos, sistemas radiculares diferentes bem como a fixação do nitrogênio atmosférico aumentando a produção de massa no inverno e contribuindo para a entrada de carbono no sistema (SILVA, 2007).

A palhada pode ter efeitos positivos como proteção da incidência direta da luz solar, preservando a umidade, auxiliando na contenção de plantas daninhas devido a barreira física formada, podendo-se reduzir as aplicações de herbicidas em alguns

casos. Outra questão são os efeitos alelopáticos que são originados da decomposição da fitomassa ou mesmo através da exsudação das raízes, impedindo a germinação e ou desenvolvimento das plantas EMBRAPA (2009).

O desenvolvimento de pesquisas e estudos no que diz respeito ao conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) em diferentes sistemas de preparo do solo e conseqüentemente diferentes rotações de cultura, tem comprovado que a semeadura direta trouxe resultados positivos principalmente em rotações no qual continham plantas de cobertura, especialmente leguminosas também conhecidas como adubos verdes. (PILLON, 2000; BAYER et al., 2000).

Os adubos verdes são largamente conhecidos por produzirem grandes quantidades de material vegetal e por auxiliarem na ciclagem de nutrientes que são extraídos das camadas mais profundas do solo, sendo que a matéria seca resultante dessas culturas possui elevada concentração de nutrientes, (SARRANTONIO e SCOTT 1988)

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O trabalho foi conduzido na FAECA – Fazenda Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD no município de Dourados, MS. O local situa-se em latitude de 22°14'S, longitude de 54 °59'W e altitude de 434 m. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen. O solo da área é um Latossolo Vermelho distroférico, cujos da granulometria das camadas estão apresentados no Quadro 1.

QUADRO1. Granulometria do Latossolo Vermelho da Fazenda Experimental da UFGD, Dourados (2013).

| Camadas (m) | Argila | Silte | Areia |
|----------------|-------------|-------|-------|
| | -----%----- | | |
| 0,00-0,10 | 59,78 | 21,73 | 18,49 |
| 0,10-0,20 | 59,26 | 22,24 | 18,50 |
| 0,20-0,30 | 62,31 | 19,79 | 17,91 |
| 0,30-0,40 | 62,83 | 20,23 | 16,94 |
| 0,40-0,50 | 64,31 | 18,90 | 16,79 |
| 0,50-0,60 | 64,86 | 19,72 | 15,42 |

Fonte: RODRIGUES (2014)

A área onde foi feito a avaliação já vinha sendo cultivada por volta de 10 anos com a cultura da soja no verão e o milho no outono-inverno, utilizando sistema plantio direto, mas nesse caso sem rotação de culturas. Conforme interpretação a análise de solo, foram aplicados, no mês de setembro de 2009, quatro toneladas do calcário por hectare em toda área, incorporado com uma gradagem pesada, e a seguir, duas toneladas de gesso incorporadas com grade niveladora.

A coleta de dados ocorreu em fevereiro de 2015 após a colheita da cultura de verão.

3.2 Delineamento experimental

O sistema de rotação foi implantado no delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições e 26 sistemas de rotações (Quadro 1). Os tratamentos 1, 2 e 3

representam um sistema com monocultura, envolvendo respectivamente, pousio/soja, milho/soja e milho+ braquiária /soja. Os demais tratamentos envolvem sistemas de rotação de culturas, sendo que no verão ocorre a rotação entre soja e milho e no outono invernos a rotação entre poáceas e oleaginosas. No ano agrícola 2010/2011, nos tratamentos 10; 11; 12; 13; 14 e 15 foram monitorados o desempenho agrônômico da soja, semeada em sucessão de cultura ao girassol, canola, trigo, nabo forrageiro, crambe e Níger. No ano agrícola 2011/2012, as mesmas sucessões foram avaliadas nos tratamentos 5; 6; 4, 7; 8 e 9 respectivamente, caracterizando a partir do ano agrícola 2011/2012, uma sistema de rotação de culturas

QUADRO 2. Sequencia de rotação e sucessão de culturas utilizadas no experimento.

| T | Ano agrícola 2011/2012 | | Ano agrícola 2012/2013 | | Ano agrícola 2013/2014 | | Ano agrícola 2014/2015 | |
|----|------------------------|----------|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|------------|
| | Verão | O/I | Verão | O/I | Verão | O/I | Verão | O/I |
| 1 | Soja | Pousio | Soja | Pousio | Soja | Pousio | Soja | Pousio |
| 2 | Soja | Milho | Soja | Milho | Soja | Milho | Soja | Milho |
| 3 | Soja | M+B | Soja | M+B | Soja | M+B | Soja | M+B |
| 4 | pousio | Pousio | Milho | Milho | Milho | Milho | Milho | Milho |
| 5 | Soja | Girassol | Milho | Braquiaria | Soja | Canola | Milho | Girassol |
| 6 | Soja | Canola | Milho | Girassol | Soja | Braquiaria | Milho | Canola |
| 7 | Soja | Trigo | Milho | Canola | Soja | Girassol | Milho | Braquiaria |
| 8 | Soja | NF | Milho | Trigo | Soja | Cártamo | Milho | NF |
| 9 | Soja | Cártamo | Milho | NF | Soja | Trigo | Milho | Cártamo |
| 10 | Soja | Trigo | Milho | Cártamo | Soja | NF | Milho | Trigo |
| 11 | Soja | Crambe | Milho | CE | Soja | Níger | Milho | Crambe |
| 12 | Soja | Níger | Milho | Crambe | Soja | CE | Milho | Níger |
| 13 | Soja | Trigo | Milho | Níger | Soja | Crambe | Milho | CE |
| 14 | Milho | Pousio | Milho | Pousio | Milho | Pousio | Milho | Pousio |
| 15 | Milho | Girassol | Soja | Braquiaria | Milho | Canola | Soja | Girassol |
| 16 | Milho | Canola | Soja | Girassol | Milho | Braquiaria | Soja | Canola |
| 17 | Milho | Trigo | Soja | Canola | Milho | Girassol | Soja | Braquiaria |
| 18 | Milho | NF | Soja | Trigo | Milho | Cártamo | Soja | NF |
| 19 | Milho | Cártamo | Soja | NF | Milho | Trigo | Soja | Cártamo |
| 20 | Milho | Trigo | Soja | Cártamo | Milho | NF | Soja | CE |
| 21 | Milho | Crambe | Soja | CE | Milho | Níger | Soja | Crambe |
| 22 | Milho | Níger | Soja | Crambe | Milho | CE | Soja | Níger |
| 23 | Milho | Trigo | Soja | Níger | Milho | Crambe | Soja | Trigo |
| 24 | M+B | Canola | S+M | Aveia | M+S | Crotalaria | S+M | Ervilhaca |
| 25 | M+B | Cártamo | S+M | Ervilhaca | M+S | Aveia | S+M | Crotalaria |
| 26 | M+B | Níger | S+M | Crotalaria | M+S | Ervilhaca | S+M | Aveia |

T – tratamentos; O/I – outono/inverno; M+B – milho+braquiária; S+M – soja+milho; M+S – milho+soja; NF – Nabo forrageiro; CE - Crot. Spectabilis.

3.3 Atributos do solo

3.3.1 Umidade do solo

Foram coletadas amostras deformadas nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,50 e 0,50-0,60 m de modo aleatório na área. Foi determinada a umidade do solo pelo método gravimétrico, conforme Kiehl (1979) e Claessen (1997).

$$U = \frac{(MI - MII)}{(MII - TA)} \times 100 \quad (1)$$

Em que: U: umidade do solo em %; MI: massa úmida de solo mais o peso da lata (g); MII: massa seca de solo mais o peso da lata (g); e TA: peso da lata em (g).

3.3.2 Resistência mecânica do solo à penetração

Foi coletados dados da resistência mecânica do solo à penetração (RP), por meio de um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf, adaptado pela KAMAQ (STOLF et al., 2011), com as seguintes características: massa de 4 kg com impacto em curso de queda livre de 0,40 m; cone com 0,0128 m de diâmetro e ângulo sólido de 30°; e haste com diâmetro aproximado de 0,01 m.

Com o intuito de identificar zonas de maior RP no perfil nos sistemas de rotação, foram coletados dados a cada 0,45 m de largura x 0,10 m de profundidade dentro da faixa de tráfego (cinco linhas da semeadora), totalizando 42 pontos amostrais (Figura 1). Foi coletado nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,50 e 0,50-0,60 m. Os dados de RP foram coletados e transformados para MPa (STOLF, 1991).

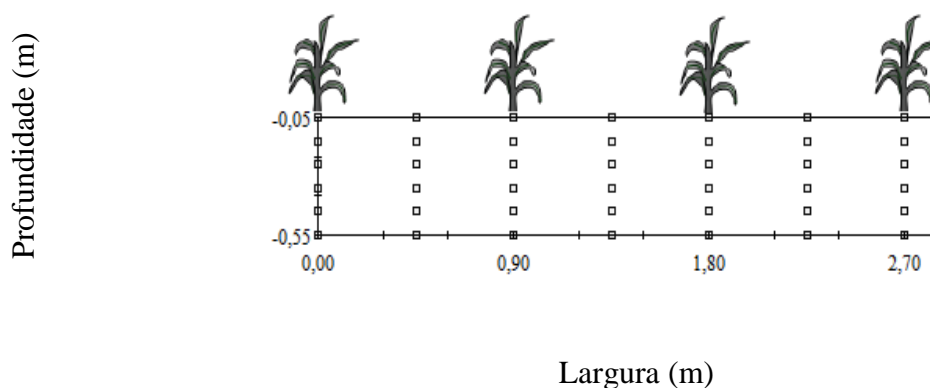


FIGURA 1. Esquema da grade amostral do perfil do solo para coleta da resistência à penetração.

3.4 Análise dos dados

Inicialmente, os dados de RP foram analisados por meio da estatística descritiva, segundo Vieira et al. (2002), obtendo-se média, variância, coeficiente de variação, assimetria e curtose.

Para verificação da dependência espacial, interpolação dos dados de resistência à penetração e construção de mapas foi empregada a análise geoestatística. Foi construído o semivariograma, partindo das pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca e do cálculo da função semivariância. Foi calculado o semivariograma para analisar a dependência espacial. O ajuste do semivariograma foi efetuado considerando-se o maior valor do coeficiente de determinação (r^2), menor valor da soma de quadrados dos desvios (RSS) e maior valor do avaliador de dependência espacial (ADE).

O ajuste do semivariograma foi realizado verificando-se visualmente os modelo e os parâmetros que melhor se ajustou e colocando-os a prova da validação cruzada, observando o valor do coeficiente angular. O semivariograma experimental fornece estimativas dos parâmetros: efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C$) e alcance. O efeito pepita (C_0) é o parâmetro do semivariograma que indica a variabilidade não explicada dos modelos, considerando a distância (h) de amostragem utilizada. O semivariograma apresenta efeito pepita puro quando a semivariância for igual para todos os valores de h . O patamar ($C_0 + C$) é o valor da semivariância em que a curva se estabiliza sobre um valor constante, sendo representado pelo ponto em que toda a semivariância da amostra é de influência aleatória. À medida que h aumenta a semivariância também aumenta até um valor máximo no qual se estabiliza. O alcance da dependência espacial representa a distância na qual os pontos amostrais estão correlacionados entre si. O grau da dependência espacial (ADE) foi classificado segundo Landim (1998) como fraco <25%, moderado entre 25 e 75%, e forte >75%, respectivamente.

Em seguida à modelagem dos semivariogramas, foi realizada a interpolação por krigagem ordinária, sendo esta uma técnica de interpolação para estimativa de valores de uma propriedade em locais não amostrados. A krigagem faz uso de um interpolador linear não tendencioso e de variância mínima, que assegura a melhor estimativa dos dados não amostrados. Por meio da interpolação por krigagem, os mapas de isolinhas (bidimensionais) foram construídos para o detalhamento espacial dos dados coletados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estatística descritiva

A umidade do solo no momento da coleta dos dados de resistência à penetração estava próximo a capacidade de campo. De modo que, as mudanças nos valores de resistência à penetração indicam efeito dos tratamentos.

No Quadro 3 são apresentados os valores da estatística descritiva referentes as resistências mecânicas do solo a penetração (Mpa) nos sistemas com rotação de culturas. Medida por penetrômetros, a resistência à penetração é a pressão sobre a área de um cone com ângulo sólido de 30° e este índice é regulamentado pela norma ASAE S.313.3, podendo ser considerado um bom indicador da compactação quando corretamente utilizado.

Analisando então a média estatística (Quadro 4), podemos afirmar que em todos os tratamentos avaliados, encontramos valores moderados de compactação (2-4 MPa), ou seja, correspondem à faixa em que começa haver impeditivos ao crescimento da planta (Ribeiro, 2010).

Todos os tratamentos analisados (Quadro 3) apresentaram uma grande amplitude entre os valores máximos e mínimos, indicativo de que há pontos críticos na área, os quais devem receber manejo diferenciado, ou seja, nestes casos, a rotação de culturas não está surgindo efeito na descompactação do solo nos tratamentos envolvidos. Sendo assim, a média é um parâmetro não confiável, pois ela mascara os valores discrepantes da sua área em estudo, podendo assim induzir ao erro em alguma tomada de decisão.

Os valores de assimetria e curtose apresentados (Quadro 3) fornecem uma indicação da normalidade dos dados, sendo que valores próximos de zero indicam uma tendência dos dados à distribuição normal. Os valores de assimetria e curtose indicaram distribuição próxima à normal para todos os tratamentos, com exceção os tratamentos 12, 13 e 25. Os coeficientes de assimetria e curtose que estão distantes de zero para as demais variáveis estudadas caracteriza-se distribuição assimétrica (Quadro 3). O coeficiente de assimetria é utilizado para caracterizar como e quanto a distribuição de frequência se afasta da simetria. Se o valor encontrado para este coeficiente for zero, a

distribuição é simétrica; se for positivo, a distribuição é assimétrica à direita e, se for negativo, é assimétrica à esquerda.

QUADRO 3. Estatística descritiva dos dados de resistência mecânica do solo à penetração (MPa) nos sistemas com rotação.

| Tratamentos | Media | DP* | Variância | Mínimo | Máximo | Assimetria | Curtose |
|-------------|-------|------|-----------|--------|--------|------------|---------|
| 1 | 3,55 | 0,54 | 0,29 | 2,07 | 4,94 | 0,01 | 0,43 |
| 2 | 3,30 | 0,57 | 0,33 | 1,73 | 4,26 | -0,28 | -0,06 |
| 3 | 3,40 | 0,47 | 0,22 | 2,24 | 4,1 | -0,39 | -0,37 |
| 4 | 3,71 | 0,51 | 0,26 | 2,58 | 4,94 | -0,08 | 0,11 |
| 5 | 3,92 | 0,62 | 0,39 | 2,41 | 5,11 | 0,26 | -0,29 |
| 6 | 3,40 | 0,64 | 0,41 | 1,56 | 4,60 | -0,09 | 0,21 |
| 7 | 3,55 | 0,65 | 0,42 | 1,73 | 4,77 | -0,64 | 0,40 |
| 8 | 3,77 | 0,69 | 0,48 | 2,74 | 5,62 | 0,81 | 0,34 |
| 9 | 3,60 | 0,58 | 0,33 | 2,24 | 4,77 | -0,17 | -0,11 |
| 10 | 3,89 | 0,80 | 0,65 | 2,24 | 5,62 | 0,06 | -0,31 |
| 11 | 3,77 | 0,74 | 0,55 | 2,24 | 5,28 | 0,08 | -0,59 |
| 12 | 3,85 | 1,02 | 1,05 | 2,41 | 7,98 | 1,71 | 4,55 |
| 13 | 3,54 | 0,73 | 0,54 | 2,41 | 6,12 | 1,10 | 1,79 |
| 14 | 3,66 | 0,70 | 0,49 | 2,41 | 5,62 | 0,22 | 0,01 |
| 15 | 3,64 | 1,01 | 1,03 | 1,90 | 5,78 | 0,51 | -0,54 |
| 16 | 3,01 | 0,67 | 0,46 | 1,73 | 4,60 | 0,36 | -0,21 |
| 17 | 3,54 | 0,69 | 0,48 | 2,07 | 5,11 | 0,45 | -0,10 |
| 18 | 3,66 | 0,78 | 0,61 | 2,41 | 5,95 | 0,73 | 0,09 |
| 19 | 3,60 | 0,78 | 0,61 | 2,07 | 5,95 | 0,56 | 0,68 |
| 20 | 3,76 | 0,89 | 0,80 | 1,39 | 5,62 | 0,18 | 0,21 |
| 21 | 3,95 | 0,75 | 0,57 | 1,73 | 5,62 | -0,30 | 0,46 |
| 22 | 4,04 | 0,82 | 0,67 | 1,90 | 5,62 | -0,78 | 0,59 |
| 23 | 4,07 | 0,83 | 0,70 | 2,41 | 6,12 | 0,42 | -0,45 |
| 24 | 3,94 | 0,89 | 0,79 | 2,41 | 5,78 | 0,58 | -0,49 |
| 25 | 4,18 | 0,86 | 0,74 | 1,73 | 5,45 | -1,48 | 1,91 |
| 26 | 3,77 | 0,53 | 0,28 | 2,24 | 4,94 | -0,41 | 0,39 |

*Desvio padrão.

4.2 Semivariogramas

No Quadro 4 são apresentados os parâmetros do semivariogramas ajustados que melhor descrevem a ocorrência da variabilidade espacial. A análise geoestatística identificou que os atributos estudados obtiveram ajuste a um modelo matemático teórico dentro da grade amostral adotada (Quadro 4). Os semivariogramas experimentais foram ajustados aos modelos teóricos, esférico e exponencial. A semivariância nos modelos exponencial e esférico aumenta com a distância entre as amostras até um valor constante (patamar ou semivariância total) a uma dada distância de amostragem denominada alcance (VIEIRA, 2000).

Observa-se que o maior valor de alcance para a RP foi para o tratamentos 2 com 48,5 cm, o que indica que este apresenta maior continuidade espacial, garantindo assim uma melhor acurácia nas estimativas em locais não amostrados (Quadro 4). Por outro lado, o tratamento 3 apresentou um menor alcance com 9,5 cm. O alcance de dependência espacial é um parâmetro muito importante e indica a distância máxima que uma variável está correlacionada espacialmente. O alcance da dependência espacial é um parâmetro geoestatístico importante na agricultura por auxiliar o delineamento de futuras amostragens de solo, indicando a máxima distância entre amostras para determinar atributos do solo com boa representatividade (Sampaio et al., 2010).

QUADRO 4. Dados ajustados do semivariograma para resistência mecânica do solo a penetração nos sistemas com rotação.

| T | Modelo | Parâmetros Semivariograma | | | | | | VC | | Modelagem | | |
|----|-------------|---------------------------|------|-----------|----------------------|------|----|----------|----------------------|------------|-----------|---|
| | | Co | Co+C | A (cm) | R ² SV | ADE | PE | CA VC | R ² VC | DC (cm) | I (cm) | N |
| 1 | Esférico | 0,04 | 0,32 | 24 | 0,58 | 0,88 | 0 | 0,88 | 0,25 | 150 | 18 | 6 |
| 2 | Esférico | 0,21 | 0,64 | 48,5 | 0,71 | 0,67 | 0 | 0,79 | 0,22 | 240 | 15 | 6 |
| 3 | Exponencial | 0,08 | 0,22 | 9,5 | 0,99 | 0,61 | 0 | 0,74 | 0,11 | 100 | 17 | 6 |
| 4 | Esférico | 0,04 | 0,22 | 21 | 0,48 | 0,83 | 0 | 0,86 | 0,29 | 150 | 18 | 6 |
| 5 | Esférico | 0,001 | 0,46 | 35,3 | 0,74 | 0,99 | 0 | 1,08 | 0,48 | 150 | 18 | 6 |
| 6 | Esférico | 0,08 | 0,38 | 25 | 0,71 | 0,78 | 0 | 0,89 | 0,24 | 150 | 18 | 8 |
| 7 | Exponencial | 0,03 | 0,46 | 16,6 | 0,16 | 0,92 | 0 | 0,73 | 0,07 | 100 | 18 | 6 |
| 8 | Esférico | 0,01 | 0,56 | 26,8 | 0,66 | 0,99 | 0 | 1,17 | 0,46 | 100 | 18 | 6 |
| 9 | Esférico | 0,14 | 0,38 | 61,4 | 0,48 | 0,61 | 0 | 0,77 | 0,17 | 110 | 18 | 6 |
| 10 | Exponencial | 0,15 | 0,70 | 35,2 | 0,54 | 0,78 | 0 | 1,08 | 0,27 | 110 | 18 | 6 |
| 11 | Esférico | 0,01 | 0,59 | 25,5 | 0,86 | 0,99 | 0 | 0,82 | 0,25 | 110 | 20 | 6 |
| 12 | Esférico | 0,01 | 0,65 | 37,3 | 0,62 | 0,97 | 1 | 0,93 | 0,44 | 150 | 18 | 6 |
| 13 | Esférico | 0,05 | 0,39 | 25,5 | 0,62 | 0,86 | 1 | 0,86 | 0,24 | 110 | 18 | 6 |
| 14 | Esférico | 0,05 | 0,39 | 13,5 | 0,06 | 0,87 | 1 | 0,30 | 0,01 | 110 | 18 | 6 |
| 15 | Esférico | 0,01 | 1,29 | 39,1 | 0,53 | 0,99 | 0 | 1,15 | 0,63 | 110 | 18 | 6 |
| 16 | Esférico | 0,16 | 0,50 | 40,4 | 0,58 | 0,69 | 0 | 0,37 | 0,04 | 150 | 18 | 6 |
| 17 | Esférico | 0,15 | 0,48 | 39,9 | 0,66 | 0,70 | 0 | 0,98 | 0,27 | 150 | 18 | 6 |
| 18 | Esférico | 0,01 | 0,66 | 25,7 | 0,48 | 0,99 | 0 | 1,18 | 0,50 | 150 | 18 | 6 |
| 19 | Esférico | 0,01 | 0,66 | 34,2 | 0,35 | 0,99 | 0 | 0,87 | 0,30 | 150 | 18 | 6 |
| 20 | Esférico | 0,01 | 0,85 | 34,6 | 0,86 | 0,99 | 0 | 1,24 | 0,49 | 150 | 18 | 6 |
| 21 | Esférico | 0,01 | 0,85 | 34,6 | 0,86 | 0,99 | 0 | 1,11 | 0,42 | 150 | 18 | 6 |
| 22 | Exponencial | 0,01 | 0,77 | 17,2 | 0,54 | 0,99 | 0 | 0,91 | 0,26 | 120 | 18 | 6 |
| 23 | Esférico | 0,01 | 0,77 | 35,0 | 0,46 | 0,99 | 0 | 0,91 | 0,51 | 120 | 18 | 6 |
| 24 | Esférico | 0,04 | 0,79 | 31,1 | 0,66 | 0,95 | 0 | 0,76 | 0,29 | 120 | 18 | 6 |
| 25 | Esférico | 0,01 | 0,74 | 33,6 | 0,56 | 0,99 | 0 | 1,02 | 0,42 | 120 | 18 | 6 |
| 26 | Esférico | 0,11 | 0,36 | 66,9 | 0,35 | 0,68 | 0 | 0,23 | 0,01 | 120 | 20 | 6 |

T: tratamentos; Co: efeito pepita; Co+C: patamar; A: alcance; SV: semivariograma; ADE: avaliador de dependência espacial; PE: pontos excluídos – outliers; VC: validação cruzada; CA: Coeficiente angular; DC: distância de comparação; I: intervalo; N: número de vizinhos utilizados no cálculo da VC.

O efeito pepita (C_0) é um parâmetro importante na análise geoestatística e representa a variância não explicada ou ao acaso, frequentemente causada por erros de medições ou variações dos atributos que não podem ser detectadas na escala de

amostragem (TRANGMAR et al., 1985; VIEIRA, 2000), a ausência total de dependência espacial é chamada efeito pepita puro. A partir disso, verifica-se que o efeito pepita foi zero para todas camadas avaliadas, o que indica a precisão do aparelho utilizado.

O avaliador de dependência espacial de uma variável pode ser analisado pela relação, em percentagem, entre o efeito pepita e o patamar do semivariograma (TRANGMAR et al., 1985). Segundo Landin (1998), o ADE é classificado como: fraco <25%, moderado entre 25 e 75%, e forte >75%, respectivamente. Segundo esta classificação, a dependência espacial foi moderada para os tratamentos 2, 3, 9, 16 e 26 e forte para os demais tratamentos (Quadro 4). Não foi observado um ADE fraco para nenhum tratamento estudado. Os atributos que apresentam forte dependência espacial são mais influenciados por propriedades intrínsecas do solo, como textura e mineralogia.

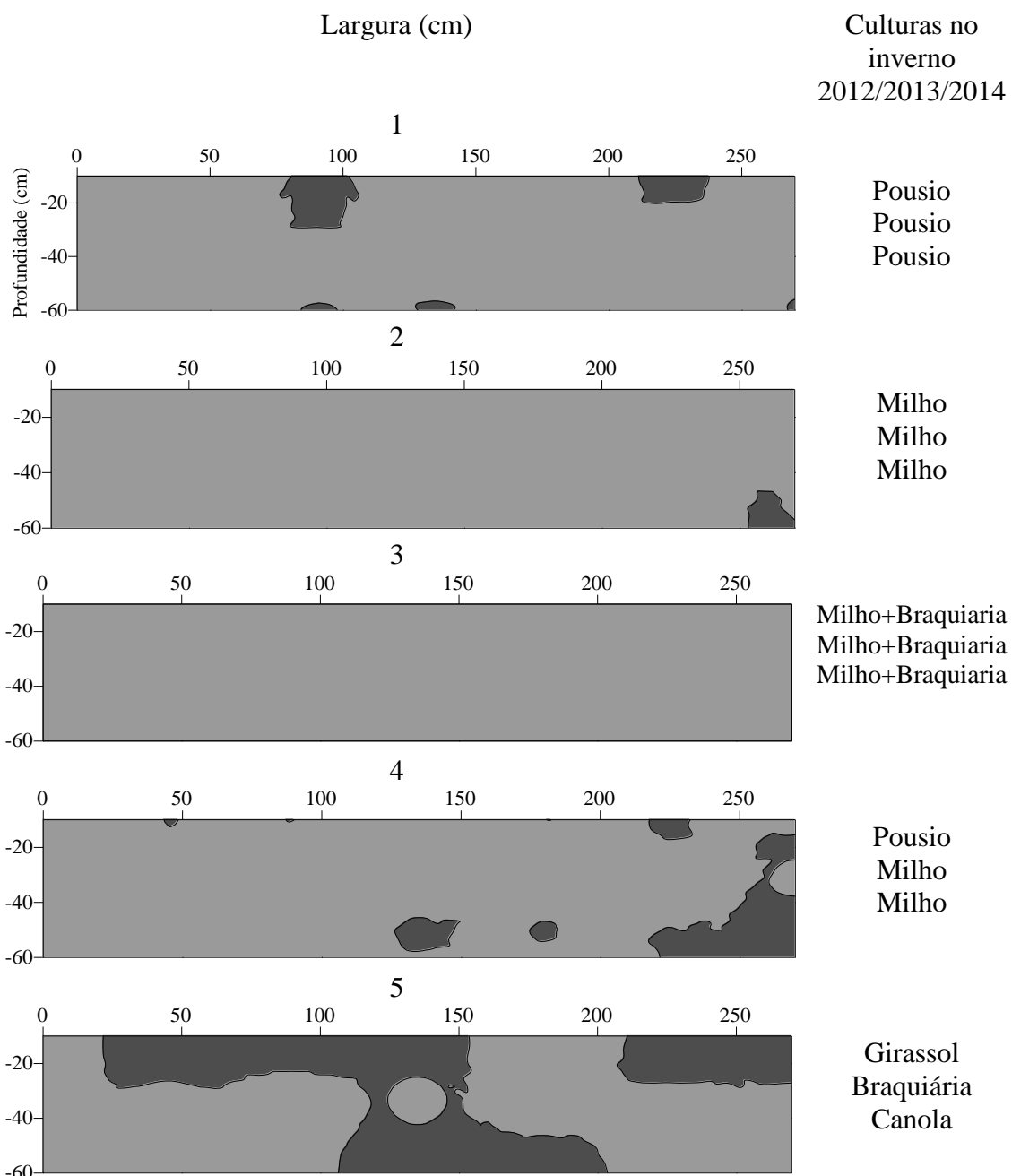
O coeficiente de determinação (R^2) variou de baixo a alto para todos os tratamentos utilizando todos os estimadores, mas devido ao grande número de observações e sabendo-se que este coeficiente é altamente influenciado pelo número de pares, podemos considerá-lo como satisfatório. A nomenclatura indica como satisfatório, um coeficiente de determinação ($R^2 >70\%$).

4.3 Mapas de isolinhas

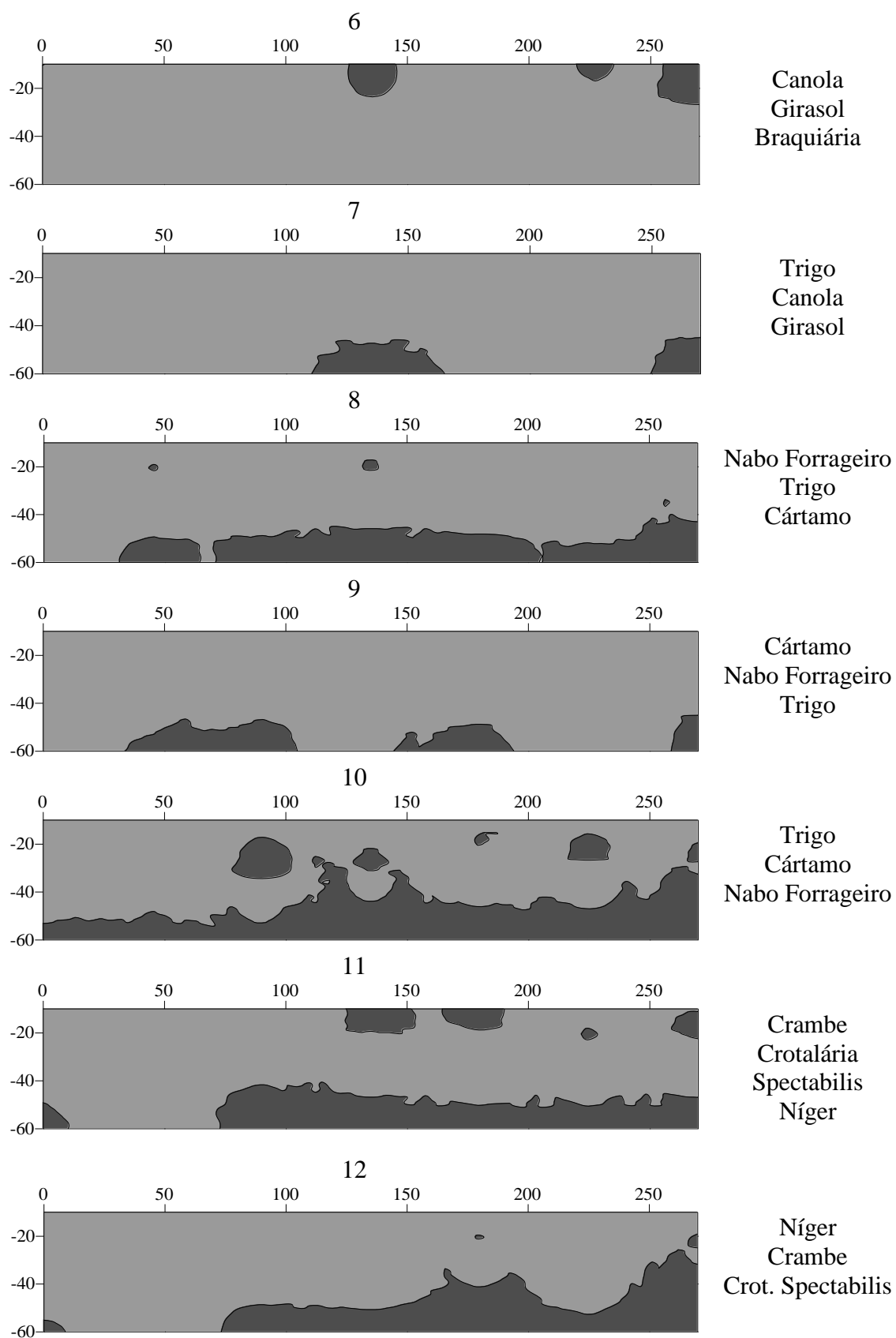
Observando-se os mapas de isolinhas (Figura 2), observam-se valores de RP de baixos a altos respectivamente. Partindo deste parâmetro, observamos pontos dentro da grade amostral com uma discrepância nos valores de cada tratamento estudado. Observamos alguns tratamentos com valores acima do permitido, devido ao valor máximo de RP encontrado, conseqüentemente, isso irá demonstrar a necessidade de uma escarificação subsolagem ou ainda mudança no sistema de rotação. E como o intuito da agricultura de precisão é fazer o manejo correto, o uso do valor máximo da camada permite expressar melhor as áreas com compactação. Esses mapas facilitam a visualização da distribuição espacial das variáveis e auxiliam no planejamento do manejo da área (SAMPAIO et al., 2010).

Comparando os tratamentos (Figura 2), observa-se valores baixos (< 4,0 MPa) para as primeiras camadas onde não ocorre perda de produtividade, valores intermediários a altos, onde notamos uma certa discrepância na área compactada,

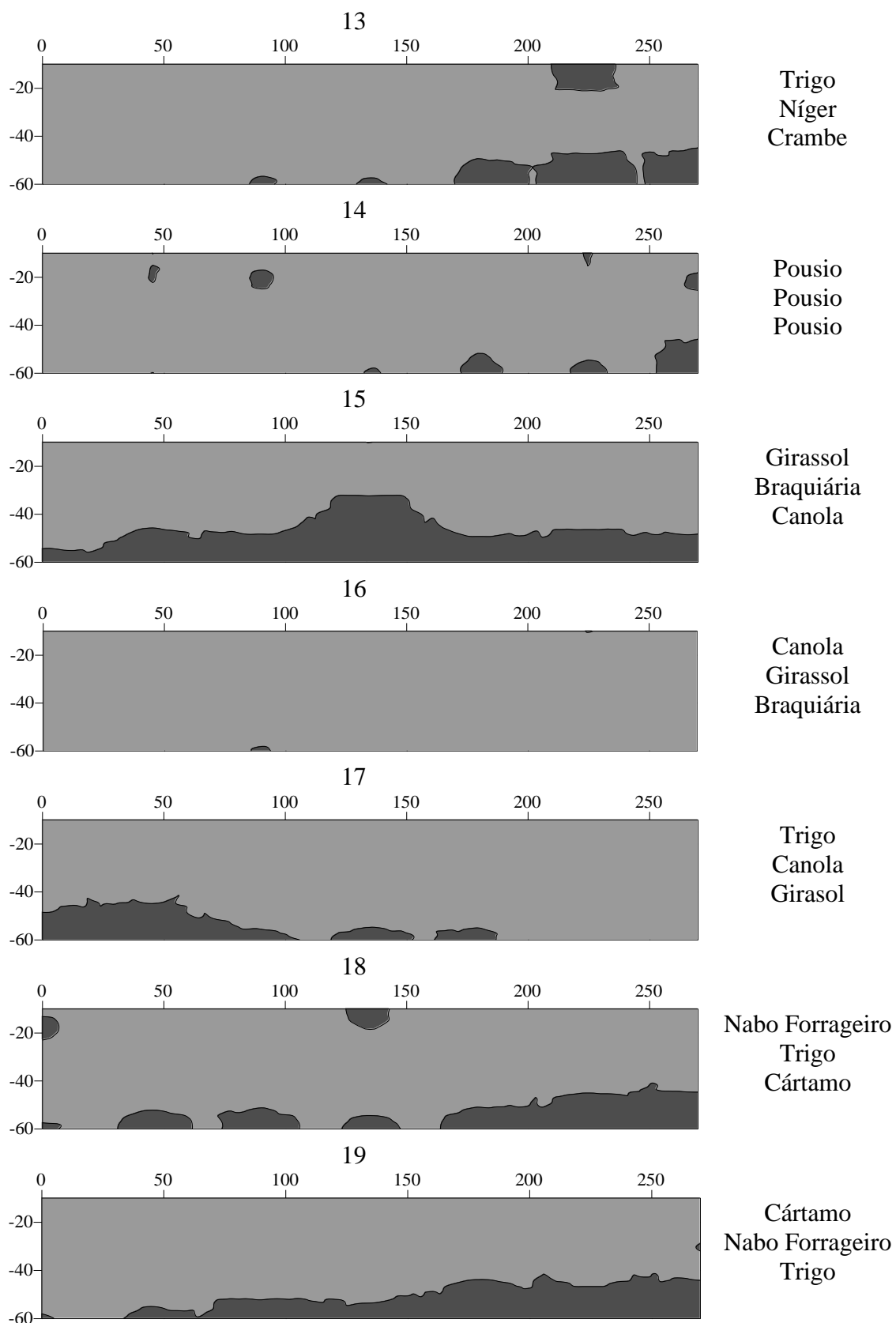
consequentemente, uma implicação no crescimento e desenvolvimento radicular das plantas. Para os tratamentos 5, 10, 21, 22 e 25, nota-se uma maior concentração de compactação na área, com valores variando entre intermediários e críticos, o que indica que a partir dessas camadas, necessita de um manejo mais detalhado dentro da área em estudo.



Continua...



Continua...



Continua...

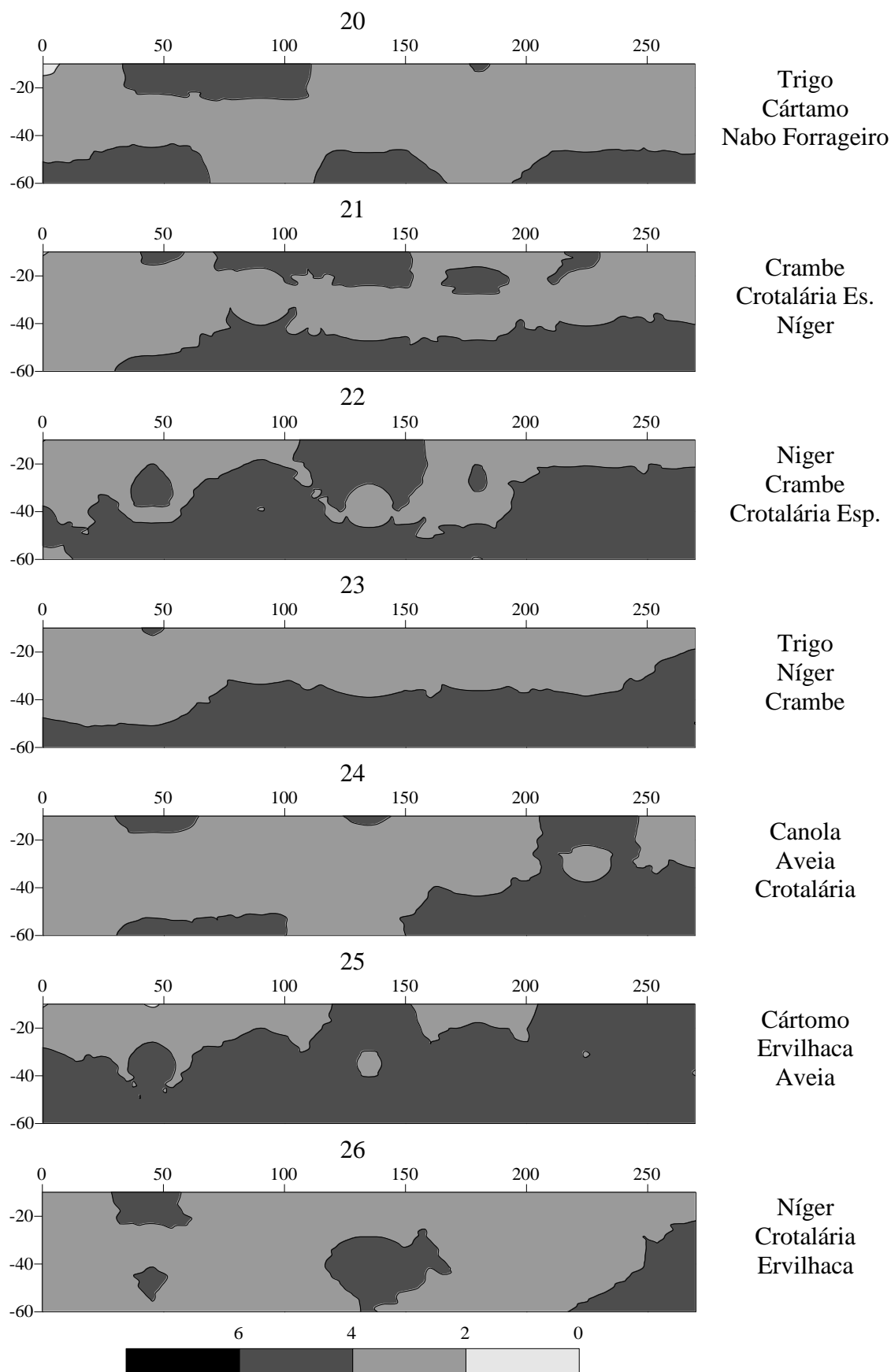


FIGURA 2. Mapas da resistência à penetração (RP) nos sistemas com rotação.

Os sistemas com rotação de cultura modificaram a resistência á penetração de forma diferenciada, como a coleta ocorreu após a safra de verão, as parcelas continham apenas soja, milho ou dois podendo ser atribuído ao sistema os efeitos sobre a compactação. Desse modo, em análise pelas culturas de inverno e o esquema de rotação adotado (Quadro 2) verifica-se que os sistemas coma as rotações definidas nos tratamentos 5, 10, 11, 12, 15, 20, 21, 22, 23, 24, e 25 apresentam valores mais elevados de resistência a penetração chegando a $>4,0$ Mpa, que pode ser considerado como restritivo ao crescimento radicular.

Os tratamentos 1, 2, 3 apresentam menor grau de RP e se comparados, o tratamento 3 apresentou a melhor eficiência possuindo como fator diferencial a braquiária, desta maneira pode-se constatar que este sistema soja, milho+braquiária mostrou-se mais eficiente quanto a física do solo.

Os tratamentos 5 e 6 apresentam as mesmas rotações de culturas porém em seqüência diferente, sendo que, no tratamento 6 a braquiária esteve mais próxima da época de avaliação e o resultado foi um grau muito menor de RP do que se comparado ao tratamento 5 em que a implantação da braquiária ocorreu muito tempo antes das avaliações.

5 CONCLUSÕES

A rotação de cultura surtiu efeitos positivos principalmente para as parcelas onde continham soja e milho no verão e no inverno girassol, braquiária, canola e parcelas com pousio.

Sistemas de manejo com soja+pousio, soja+milho, milho+milho e soja+milho+braquiária, respectivamente verão e inverno, foram eficientes em manter a resistência a penetração até 4,0 MPa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMI, P.; DOS SANTOS, I.; FRANCHIN, M.; SARTOR, L.; TARTARO, D.; NUNES, E.; XAVIER, F. Eficiência de fungicidas no controle da antracnose (*Colletotrichumdematium* var. *truncata*) da soja (*Glicinemax*). Sinergismusscientifica UTFPR, Pato Branco, v. 1, p. 22-28, 2006.

ALTIERI, M. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. p181-Guaíba : Agropecuária, 2002. p592.

BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um latossolo vermelho sobre plantio direto. Pesq. Agrop. Bras., 39(7): 677-683, 2004.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R. & SOJKA, R.E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. Soil Till. Res., v.43, p.205-217, 1997.

CLAESSEN, M.E.C. (Org.). Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p.

EMBRAPA: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/ferverde.htm
Visualizada em: 24/04/2016

EMBRAPA: <http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/manejo.htm>
Visualizada em: 24/04/2016

FRANCHINI, J.C.; BORKERT, C.M.; FERREIRA, M.N.; GAUDÊNCIO, C.A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 24, n.2, p. 459-467, 2000.

GONÇALVES, S. L.; GAUDENCIO C. A.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R.; GARCIA, A. Rotação de cultura. Circular técnica 45, EMBRAPA 10 p. Londrina-PR 2007.

KIEHL, E.J. Manual de edafologia: relação solo-água-planta. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262p.

LANDIM, P.M.B. Análise estatística de dados geológicos. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998. 226p. (Ciência e Tecnologia).

MACEDO, J. R; CAPECHE, C.L.; MELO, A.S. Recomendação de manejo e conservação de solo e água. Niterói: Programa Rio Rural, 2009. 45 p.

MANCIN, C. R. Desempenho agrônomo da soja sob diferentes rotações e sucessões de culturas em sistema de plantio direto. 2007. 78p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados - MS.

PILLON, C. N. Alterações no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzidas por sistemas de cultura em plantio direto. 2000. 232p. Tese de doutorado, UFRGS.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília v.35, n.5, p929-938, maio 2000.

RIBEIRO, C. A. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração em áreas mecanizadas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). Jaboticabal: FCAV/UEP: 2010. 85p. Dissertação Mestrado.

SAMPAIO, F.M.T.; FERREIRA, M.M.; OLIVEIRA, M.S.; ALMEIDA, A.C.; JOSÉ, M.R. Variabilidade espacial da umidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob plantio direto. Eng. Agríc. 2010;30:854-61.

SARRANTONIO, M.; SCOTT, T. W. Tillage effects on availability of nitrogen to corn following a winter green manure crop. Soil Science Society of American Journal, Madison, v52, p.1661-1668, 1988.

SILVA, D. A.; Efeito da sucessão de cultura na qualidade do solo em um sistema de plantio direto. 2007, 81p. Tese de Doutorado. UFGD, Dourados:

SILVEIRA, D. C.; FILHO, J. F. M.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA E. C. P. Relação umidade *versus* resistência a penetração para um argissolo amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, v.34, p. 659-667, 2010.

SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G.L. Soybean diseases. In: HARTMAN, G.L.; SINCLAIR, J.B.; RUPE, J.C.(Ed.). Compendium of soybean diseases. 4 ed., Minnesota: APS, p. 3-4. 2008.

SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. V. Soil compaction problems in world agriculture. Soil compaction in crop production, p.1-21, 1994.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.15, p.229-235, 1991.

STOLF, R.; MURAKAMI, J. H.; MANIERO, M. A.; SOARES, M. R.; SILVA, L. C. F. Incorporação de régua para medida de profundidade no projeto do penetrômetro de impacto Stolf. In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 50, 2011, Cuiabá. Anais... Cuiabá: SBEA, 2011. p. 1-10. CD-ROM.

STOLF, R.; FERNANDES, J. & URLANI NETO, V.L. Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto-modelo IAA/Planalsucar - Stolf. São Paulo, MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1983. 8p. (Boletim, 1).

SUZUKI, L.E.A.S. Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas.2005, 149p., Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, San Diego, v.38, n.1 p.45-94, 1985.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V., V.H. & SCHAEFER, G.R., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.