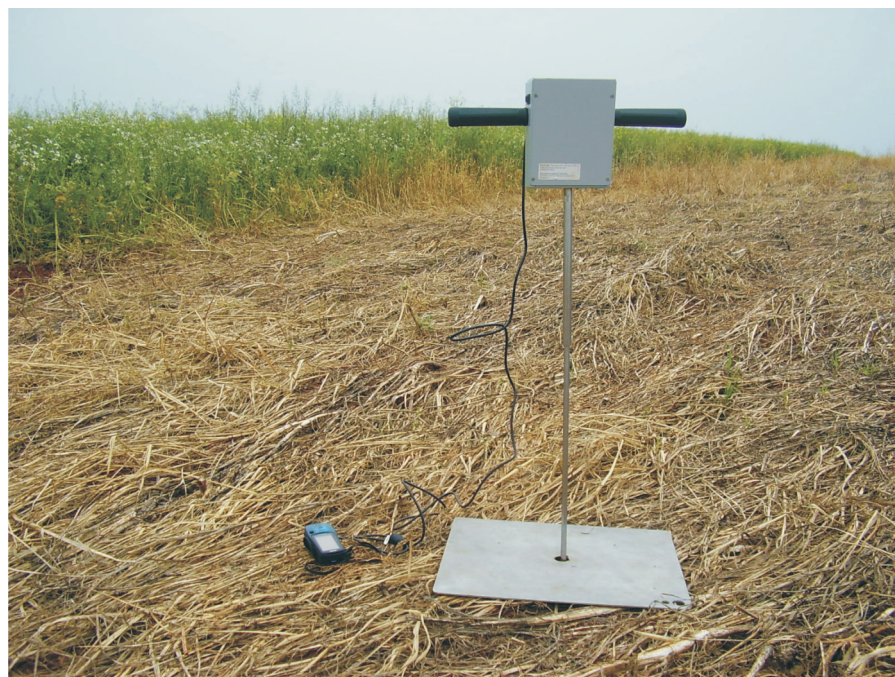


Variabilidade da resistência a penetração do solo em função da dimensão da malha amostral

Maurício Roberto Cherubin¹; Antônio Luis Santi²; Claudir José Basso²; Mateus Tonini Eitelwein³ e André Luis Vian⁴



Introdução

da mesma forma que devem medir a magnitude com a qual a matriz do solo resiste à deformação. Dentre os principais indicadores, destaca-se a resistência do solo à penetração (RP).

A RP tem sido adotada como indicativo da compactação do solo, por apresentar relações diretas com o desenvolvimento das plantas e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo (SILVA et al., 2003).

Desta forma, a avaliação e o monitoramento das camadas de impedimento mecânico do solo ao desenvolvimento radicular, tornam-se ferramenta importante para caracterizar a evolução de sistemas agrícolas. E também, para servir como subsídio indispensável a ser usado no planejamento e direcionamento das práticas de cultivo empregadas dentro de uma propriedade agrícola (TORRES & SARAIVA, 1999).

A utilização de técnicas geostatísticas permite avaliar e descrever detalhadamente a distribuição espacial das propriedades do solo, como a RP (SCHAFFRATH et al., 2008). Esta técnica, além de considerar o valor de cada ponto amostral, também associa a posição geográfica em que se encontra, possibilitando que amostras próximas tenham valores mais semelhantes e sejam mais correlacionadas do que amostras mais distantes do ponto de referência (SILVA et al., 2003).

A partir da obtenção de dados georreferenciados e auxílio da geostatística, a construções de mapas com os valores obtidos por meio de krigagem são importantes para a verificação

O conhecimento da variabilidade espacial das propriedades físicas do solo pode contribuir na definição de melhores estratégias para o manejo sustentável do solo (SCHAFFRATH et al., 2008). Neste sentido, torna-se relevante estudar os indicadores de qualidade física dos solos. Segundo Bottega et al. (2011) tais indicadores devem se relacionar diretamente à produção das culturas e que sejam suficientemente potentes para medir a capacidade do solo de fornecer adequada aeração e quantidade de água para o crescimento e expansão do sistema radicular,

¹Eng° Agr°, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e Ambiente da Universidade Federal de Santa Maria.

E-mail: mauricio_eafs@yahoo.com.br

²Eng° Agr°, Dr. Professor do Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen.

³Eng° Agr°, Aluno Especial do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura e Ambiente da Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen – RS.

⁴Acadêmico do Curso de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria campus de Frederico Westphalen – RS.

e interpretação da variabilidade espacial (GREGO & VIEIRA, 2005). Os autores complementam, afirmando que a análise geoestatística dos dados é completada com as informações mostradas nos mapas, que são visualmente comparadas para o entendimento da variabilidade das propriedades físicas e hídricas do solo no campo, e que são úteis nas tomadas de decisões.

No entanto, ainda há uma carência de informações que definam qual a intensidade amostral (dimensão da malha) necessária para a obtenção de informações acuradas. Assim, a determinação de um número de amostras que assegure a obtenção de um valor médio confiável, permitirá economia de tempo e trabalho, havendo uma relação custo benefício positiva por meio da acurácia na avaliação com menor custo (TAVARES FILHO & RIBON, 2008).

Neste contexto o objetivo do trabalho foi avaliar a influência da dimensão da malha amostral na identificação da variabilidade espacial da RP do solo em área manejada sob sistema plantio direto.

Material e métodos

O trabalho foi conduzido em área experimental localizada no município de Boa Vista das Missões - RS. A área está situada entre as coordenadas: latitude: 27°20'20"S a 27°20'48"S e longitude: 69°36'50" W a 69°37'26" W, totalizando uma área cultivada 30,78 ha. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2006) e manejado sob sistema plantio direto (SPD) a mais de 10 anos. O clima da região segundo a classificação de Koeppen é do tipo Cfa – temperado chuvoso, com precipitação média anual elevada, geralmente entre 1.800 e 2.100 mm. A temperatura média anual é em torno 18°C, com máximas no verão podendo atingir 41°C e mínimas no inverno atingindo valores inferiores a 0°C (MORENO, 1961).

A vetorização da área experimental foi obtida a partir da demarcação do perímetro, por meio de aparelho de GPS de navegação portátil, marca Garmin®, modelo Legend. As malhas amostrais quadrilateras utilizadas para a identificação da variabilidade espacial da RP do solo foram às seguintes:

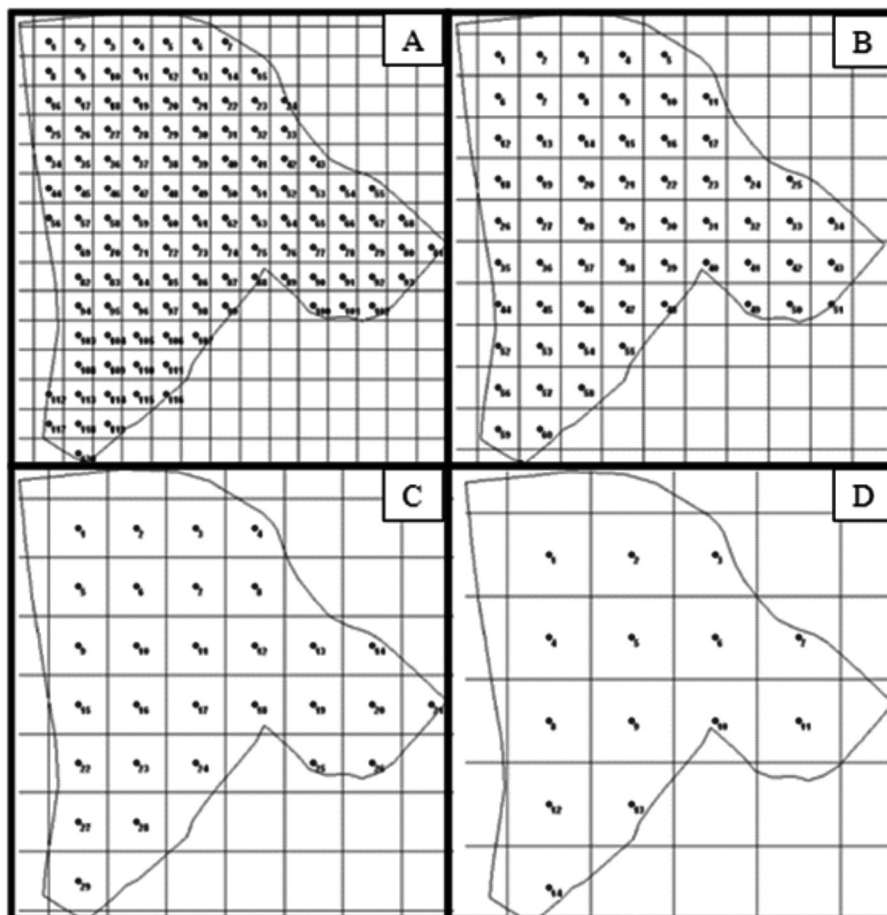


Figura 1. Malhas amostrais utilizadas para avaliação da resistência a penetração do solo, onde: A) 50 x 50 m; B) 73 x 73 m; C) 100 x 100 m; D) 141 x 141 m (Boa Vista das Missões – RS, 2011).

50 x 50 m (0,25 ha); 70,71 x 70,71 m (0,5 ha); 100 x 100 m (1 ha); e 141,42 x 141,42 m (2 ha), totalizando 120, 60, 29 e 14 pontos amostrais, respectivamente (Figura 1). As malhas foram geradas, por meio do software Sistema CR – Campeiro 7 (GIOTTO & ROBALINA, 2007).

As avaliações de RP a campo foram realizadas com auxílio de um penetrômetro digital portátil marca PenetrôLOG, sob condições de solo friável, na camada de 0 a 40 cm. Para a realização do trabalho foram avaliados os valores das profundidades: 10; 20; 30; e 40 cm. A partir dos resultados obtidos, foram estruturados os modelos digitais e gerados os mapas temáticos utilizando o método geoestatístico de interpolação krigagem, onde os pesos são atribuídos todos iguais a 1/N (N= número de amostras).

A análise estatística descritiva dos valores de RP do solo foi procedida com o auxílio do software Statistical

Analysis System (SAS), objetivando verificar a posição e dispersão dos dados. Os parâmetros estatísticos determinados foram: mínimo, média, mediana, máximo, desvio padrão, coeficiente de variação (CV%), assimetria e curtose. Com base nos valores de CV (%) obtidos, a dispersão dos dados foi classificada em: baixa (CV < 12 %), média (12 ≤ CV ≤ 62 %) e alta (CV > 62 %) (WARRICK & NIELSEN, 1980).

Além disso, verificou-se a existência de tendência central (normalidade) dos dados originais por meio do Teste W (p < 0,05) (SHAPIRO & WILK, 1965). Foram considerados como distribuição de probabilidade normal os dados que obtiveram resultado de p-valor maior que 0,05, ou seja, valor não significativo ao nível de 5% de significância.

Resultados e discussão

Na tabela 1 são apresentados os resultados da análise estatística descri-

tiva dos valores de RP do solo, de acordo com a dimensão da malha amostral utilizada. Verificou-se que na camada mais superficial avaliada (10 cm), independente da dimensão da malha utilizada, os valores de RP do solo não apresentaram distribuição de probabilidade normal, observado por meio do Teste W (5%) e coeficientes de assimetria e curtose. Este fato comprova-se pela grande amplitude observada nos valores, variando de 18 a 3614 kPa (malha 50 x 50 m), de 28 a 2982 kPa (malha 71 x 71 m), de 85 a 2026 kPa (malha 100 x 100 m) e de 26 a 2389 kPa (malha 141 x 141 m) e consequentemente pelas altas dispersões dos dados (CV >62%) averiguadas para todas as malhas testadas. De acordo com vários autores, tais como Tormena et al. 1998 e Ribon & Tavares Filho (2008) é comum encontrar elevados coeficientes de variação para a resistência do solo à penetração.

Esta maior variação nos valores de RP na camada superficial (0 a 10 cm) pode estar relacionada ao sistema e práticas de manejos adotados na área. Como a área é manejada sob SPD, as maiores modificações estruturais do solo ocorrem nesta camada, sejam estas, advindas da ação mecânica produzida pelas raízes das plantas, pela fauna edáfica (bioporos), pelo tráfego de máquinas/equipamentos, e pela ação mecânica dos discos e/ou hastes na abertura das linhas de semeadura. Desta forma, verifica-se que o aumento da microvariabilidade da RP do solo em superfície, é intensificado pela interação dos fatores acima citados com o solo, no entanto, não apresenta continuidade com mesma intensidade à medida que aumenta a profundidade, aumentando a homogeneidade dos valores de RP observados (<CV%).

Nas camadas de solo mais profundas (20, 30 e 40 cm), os valores de RP apresentaram menores amplitudes que na camada de 10 cm. Resultando em menores dispersões dos dados, classificando-as como médias ($12 \leq CV \leq 62\%$) e distribuições de probabilidade normal. No entanto, é possível verificar que nestas camadas os valores médios de RP do solo, apresentaram-se mais elevados, atingindo 3170 kPa (20 cm), 2402 kPa (30 cm) e 2308 kPa (40 cm). Estes resultados indicam que

na profundidade de 20 cm, há uma camada de maior impedimento mecânico do solo, podendo ser atribuído à "herança" do sistema convencional, também chamado popularmente de "pé de arado".

Desta forma, se a área fosse manejada pela média (agricultura tradi-

cional), levando em consideração o valor crítico de RP para Latossolo, de aproximadamente 2000 kPa (TORMENA et al., 1998; TORRES & SARAIVA, 1999; SENRA et al., 2007), a partir dos resultados obtidos, poder-se-ia inferir que toda a área apresenta problemas de compactação do solo, com poten-

Tabela 1. Estatística descritiva dos valores de resistência a penetração (RP) em quatro profundidades do solo, utilizando malhas amostrais de diferentes dimensões (Boa Vista de Missões – RS, 2011).

Parâmetros	Malha Amostral			
	50 x 50 m	71 x 71 m	100 x 100 m	141 x 141 m
----- Profundidade 10 cm -----				
N° Pontos	120	60	29	14
RP Mínimo (kPa)	18	28	85	26
RP Média (kPa)	885	600	821	558
RP Mediana (kPa)	657	522	673	501
RP Máxima (kPa)	3614	2982	2026	2389
Desvio Padrão	755,74	521,33	565,62	631,48
CV (%)	85,35	91,52	68,84	113,14
Curtose	1,95	7,45	- 0,45	5,17
Assimetria	1,34	2,17	0,75	2,07
Teste W	0,87*	0,81*	0,92*	0,77*
----- Profundidade 20 cm -----				
RP Mínimo (kPa)	1688	1260	2175	2374
RP Média (kPa)	3170	2742	2973	2922
RP Mediana (kPa)	3221	2801	2982	2898
RP Máxima (kPa)	4916	4498	4050	3745
Desvio Padrão	685,95	592,31	469,78	377,13
CV (%)	21,63	21,60	15,80	12,91
Curtose	- 0,50	0,71	0,03	0,19
Assimetria	0,18	- 0,14	0,22	0,47
Teste W	0,98ns	0,98ns	0,96ns	0,95ns
----- Profundidade 30 cm -----				
RP Mínimo (kPa)	1469	1327	1771	1704
RP Média (kPa)	2402	2357	2246	2268
RP Mediana (kPa)	2401	2345	2211	2327
RP Máxima (kPa)	3542	4047	2974	2892
Desvio Padrão	358,52	459,83	284,03	418,88
CV (%)	14,93	19,51	12,64	18,47
Curtose	0,44	2,14	0,46	- 1,59
Assimetria	0,06	0,60	0,72	- 0,11
Teste W	0,99ns	0,96ns	0,96ns	0,91ns
----- Profundidade 40 cm -----				
RP Mínimo (kPa)	1253	1309	1469	1448
RP Média (kPa)	2250	2308	2169	2109
RP Mediana (kPa)	2283	2268	2134	2066
RP Máxima (kPa)	3501	3158	2843	2781
Desvio Padrão	382,68	420,08	340,30	378,23
CV (%)	17,01	18,20	15,68	17,93
Curtose	0,69	- 0,48	- 0,04	- 0,61
Assimetria	0,25	- 0,03	0,39	0,11
Teste W	0,99ns	0,98ns	0,96ns	0,97ns

*Significativo pelo Teste W (5%), indicando que os valores não apresentam distribuição normal; ns: Não significativos pelo Teste W (5%) indicando que os valores apresentam distribuição normal.

cial restritivo ao desenvolvimento radicular ótimo das plantas.

Por outro lado, observando a tabela 2, a partir do georreferenciamento das informações (agricultura de precisão - AP) é possível verificar que existem níveis de RP diferenciados na área, justificando em algumas sub-regiões, um monitoramento temporal da RP e uma possível intervenção mecânica em sítio específico.

Com base nos mapas temáticos (Figura 2, 3, 4 e 5), foi possível inferir que à medida que se aumenta a dimensão da malha amostral, reduz a qualidade da informação, ou seja, os resultados tornam-se menos acurados, podendo dificultar a interpretação e/ou definição de zonas compactadas. Esta informação é relevante, pois indica que para o monitoramento de propriedades físicas do solo, com a RP, é necessária a intensificação amostral, podendo inviabilizar avaliações em área total, quando as lavouras apresentaram grandes extensões. Desta forma, é fundamental o aprofundamento de estudos que direcionem a definição

Tabela 2. Situação da área quanto a resistência a penetração (RP) em quatro profundidades do solo, utilizando malhas amostrais de diferentes dimensões (Boa Vista de Missões – RS, 2011).

Classe RP — kPa —	Situação da área (%)			
	50 x 50 m	71 x 71 m	100 x 100 m	141 x 141 m
----- Camada 10 cm -----				
0000 - 2000	96,00	99,38	100,00	98,37
2000 - 3000	3,77	0,62	0,00	1,63
3000 - 4000	0,23	0,00	0,00	0,00
4000 - 8000	0,00	0,00	0,00	0,00
----- Camada 20 cm -----				
0000 - 2000	0,65	6,60	0,00	0,00
2000 - 3000	37,46	66,28	50,29	61,63
3000 - 4000	56,46	26,32	48,80	38,37
4000 - 8000	5,43	0,80	0,91	0,00
----- Camada 30 cm -----				
0000 - 2000	5,10	12,15	8,02	19,69
2000 - 3000	93,44	85,52	91,98	80,31
3000 - 4000	1,46	5,33	0,00	0,00
4000 - 8000	0,00	0,00	0,00	0,00
----- Camada 40 cm -----				
0000 - 2000	19,72	18,19	22,29	36,42
2000 - 3000	79,27	80,25	77,71	63,58
3000 - 4000	1,01	1,56	0,00	0,00
4000 - 8000	0,00	0,00	0,00	0,00

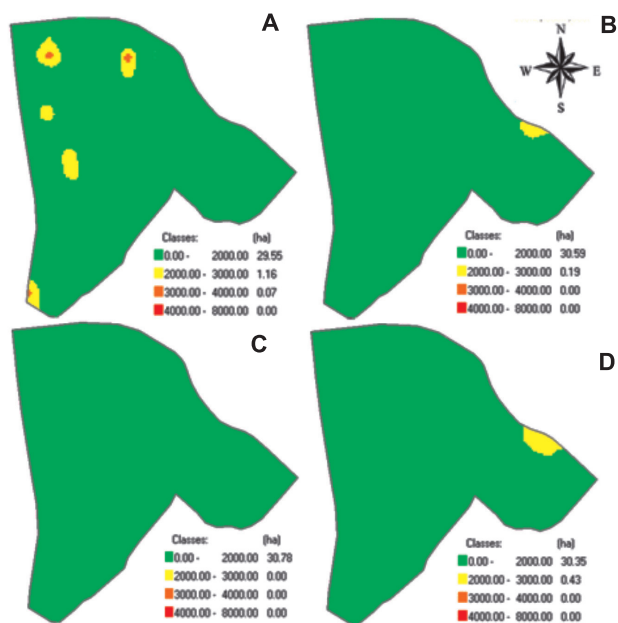


Figura 2. Mapas temáticos de resistência a penetração do solo na profundidade de 10 cm, onde: A) 50 x 50 m; B) 73 x 73 m; C) 100 x 100 m; D) 141 x 141 m (Boa Vista das Missões – RS, 2011).

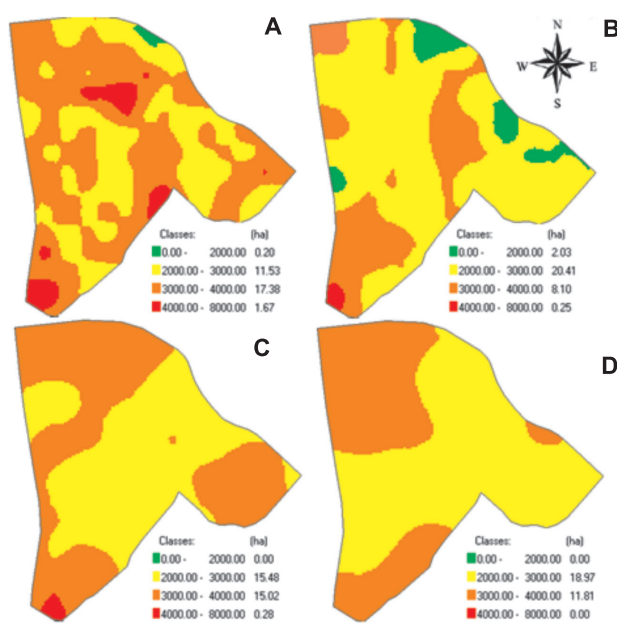


Figura 3. Mapas temáticos de resistência a penetração do solo na profundidade de 20 cm, onde: A) 50 x 50 m; B) 73 x 73 m; C) 100 x 100 m; D) 141 x 141 m (Boa Vista das Missões – RS, 2011).

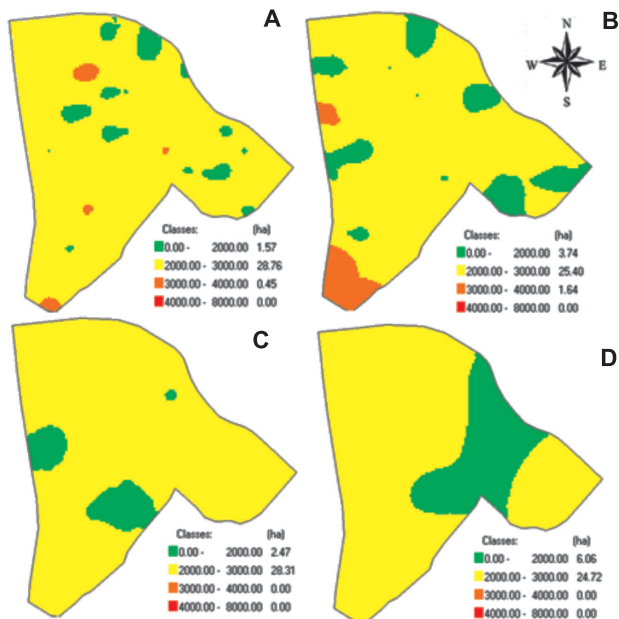


Figura 4. Mapas temáticos de resistência a penetração do solo na profundidade de 30 cm, onde: A) 50 x 50 m; B) 73 x 73 m; C) 100 x 100 m; D) 141 x 141 m (Boa Vista das Missões – RS, 2011).

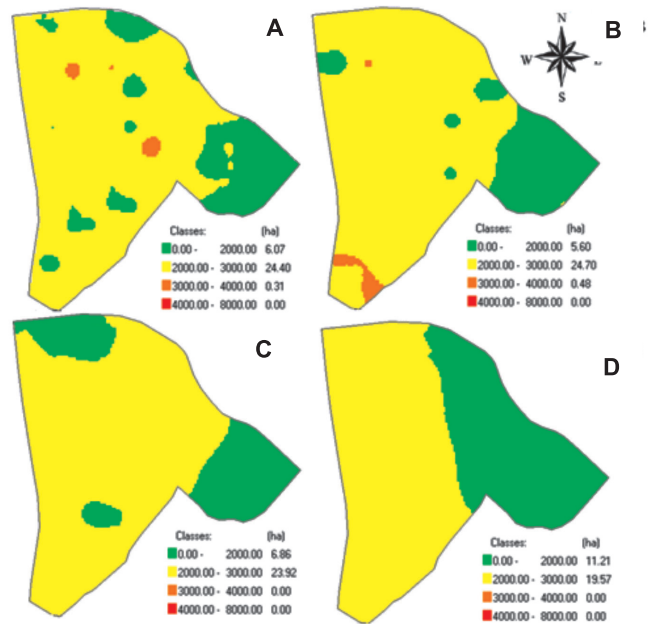


Figura 5. Mapas temáticos de resistência a penetração do solo na profundidade de 40 cm, onde: A) 50 x 50 m; B) 73 x 73 m; C) 100 x 100 m; D) 141 x 141 m (Boa Vista das Missões – RS, 2011).

de zonas de manejo dentro das áreas, com base em mapas de colheita, e assim, proceder nestas, o monitoramento das propriedades físicas do solo.

A partir dos resultados, demonstrado na figura 6, também foi possível identificar a existência de variabilidade espacial vertical, ao longo do perfil do solo. Cabe ressaltar que independente da dimensão da malha amostral, foi possível identificar a profundidade onde se encontra a camada de maior impedimento à penetração radicular no solo, próximo aos 20 cm de profundidade.

Conclusão

A área estudada apresenta variabilidade espacial nos valores de RP do solo, tanto horizontalmente como verticalmente.

Conforme reduz o tamanho da malha, há maior confiabilidade na definição de zonas compactadas, onde, das dimensões de malhas amostrais estudadas, a mais recomendada para avaliação da RP do solo a campo é a 50 x 50 m;

Na profundidade de 20 cm, identificou-se a camada de maior impe-

dimento (compactada) a penetração radicular.

Algumas estratégias de manejo poderiam ser utilizadas para minimizar os efeitos e/ou evitar o agravamento da compactação do solo, tais como:

a) Introdução de plantas recuperadoras do solo, ou seja, elaborar um plano de rotação de culturas na área, incluindo plantas com grande produção de fitomassa e sistema radicular profundo, possibilitando melhorias na estrutura do solo no perfil, a partir do rompimento das camadas compactadas;

b) Evitar o tráfego de máquinas e equipamentos na lavoura, especialmente, em condições de alta umidade, onde o solo apresenta maior susceptibilidade à compactação;

c) Escarificação mecânica em pontos críticos (sítios específicos), evitando o revolvimento e conseqüentemente desestruturação do solo em locais da área não compactados.

Cabe lembrar, que a compactação proveniente do manejo do passado (plantio convencional) em camadas superiores a 20 cm dificilmente poderá ser resolvida com estratégias mecâ-

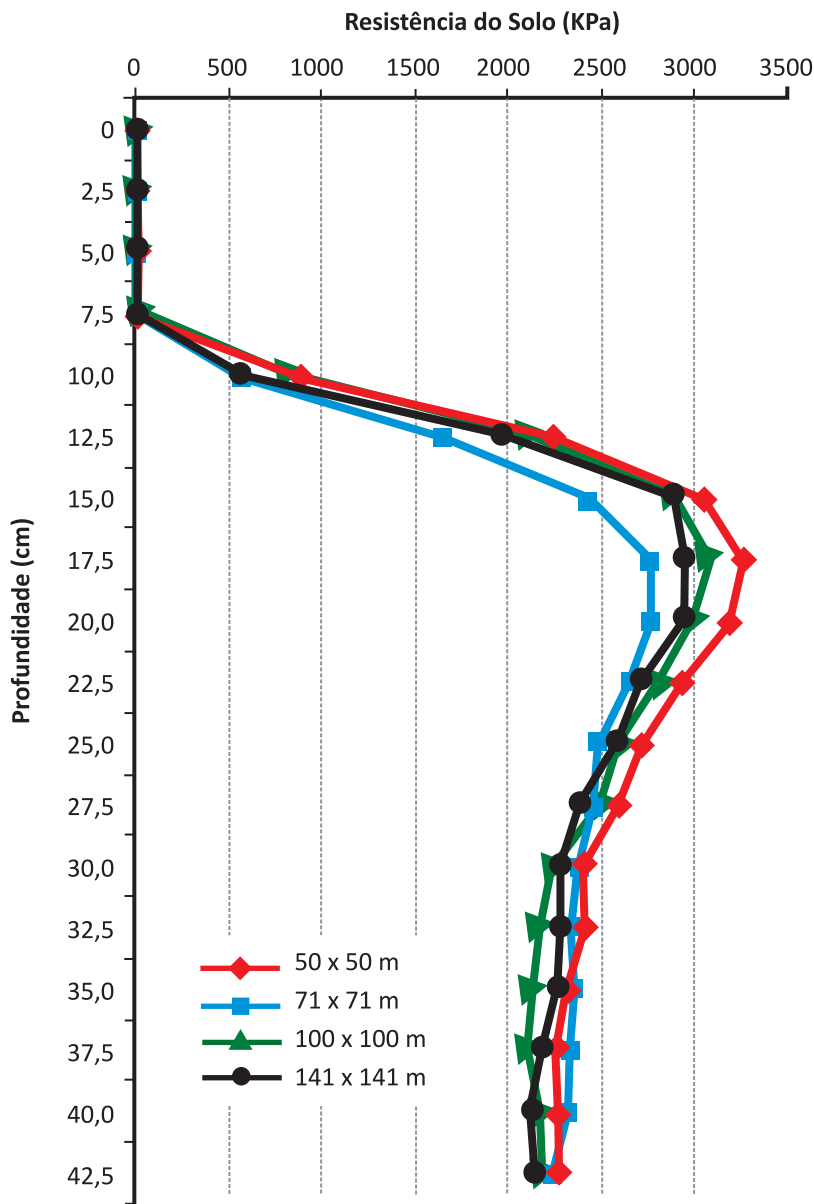


Figura 6. Distribuição dos valores de resistência a penetração do solo ao longo do perfil do solo, utilizando malhas amostrais de diferentes dimensões (Boa Vista das Missões – RS, 2011).

nicas o que requer de fato estratégias de manejo que contemplem, em planos de rotação, espécies com sistema radicular capazes de ir além dessa camada como guandu, crotalária ou mesmo o nabo.

Em resumo, a pesquisa e as estratégias da agricultura de precisão são de grande valia para auxiliar no diagnóstico, porém, está nas mãos do agricultor a ferramenta para resolver o problema da compactação. A receita, se é que existe, se chama rotação de culturas.

Referências bibliográficas

BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S. A.; QUEIROZ, D. M.; SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 6, n. 2, p. 331-336, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A. D. *A agricultura de precisão com o CR Campeiro 7*. Manual do usuário. Santa Maria: UFSM/ Centro de Ciências Rurais/Departamento de Engenharia Rural/Laboratório de Geomática, 2007, 319 p.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.

MORENO, J. A. *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia, 1961. 46 p.

SCHAFFRATH, V. R.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; ANDRADE GONÇALVES, A. C. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1369-1377, 2008.

SENRA, A. F.; LOUZADA, R. O.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, C. M. A.; VICTOR, D. M. Resistência à penetração em "Latossolo Vermelho" sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. *Revista Ciências Técnicas Agropecuárias*, La Havana, v. 16, n. 1, 2007.

SILVA, E. A. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; ROCHA, J. V.; SOUZA, E. G. Um Estimador robusto e o semivariograma cruzado na análise de variabilidade espacial de atributos do solo e planta. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 25, n. 2, p. 365-371, 2003.

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

TAVARES FILHO, J.; RIBON, A. A. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 487-494, 2008.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 22, p. 573-581, 1998.

TORRES, E.; SARAIVA, O. D. *Camadas de Impedimento Mecânico do Solo em Sistemas Agrícolas com a Soja*. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 23).

WARRICK, A. W.; NIELSEN D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, p. 319-344, 1980.