

Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado⁽¹⁾, Alberto Carlos de Campos Bernardi⁽²⁾, Luís Ivan Ortiz Valencia⁽³⁾, José Paulo Molin⁽⁴⁾, Leandro Maria Gimenez⁽⁵⁾, Carlos Alberto Silva⁽⁶⁾, Aluísio Granato de Andrade⁽⁷⁾, Beáta Eموke Madari⁽¹⁾ e Margareth Simões Penello Meirelles⁽⁷⁾

⁽¹⁾Embrapa Arroz e Feijão, Caixa Postal 179, CEP 75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO. E-mail: pmachado@cnpaf.embrapa.br, madari@cnpaf.embrapa.br ⁽²⁾Embrapa Pecuária Sudeste, Caixa Postal 339, CEP 13560-970 São Carlos, SP. E-mail: alberto@cnpse.embrapa.br ⁽³⁾Universidade Federal do Rio de Janeiro, Inst. de Geociências, Av. Brigadeiro Trompowski, s/nº, Bloco F, Ilha do Fundão, Cidade Universitária, CEP 21941-590 Rio de Janeiro, RJ. E-mail: liov@acd.ufrj.br ⁽⁴⁾Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Dep. de Engenharia Rural, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba, SP. E-mail: jpmolin@esalq.usp.br ⁽⁵⁾Fundação ABC, Caixa Postal 1.003, CEP 84165-980 Castro, PR. E-mail: mecaniza@fundacaoabc.org.br ⁽⁶⁾Universidade Federal de Lavras, Dep. de Ciência do Solo, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras, MG. E-mail: csilva@ufla.br ⁽⁷⁾Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, nº 1.024, CEP 22460 000 Rio de Janeiro, RJ. E-mail: aluisio@cnpes.embrapa.br, margaret@cnpes.embrapa.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi mapear e avaliar a variabilidade espacial da condutividade elétrica do solo (CE), obtida por meio de sensor de contato de campo, num Latossolo Vermelho distroférrico, sob plantio direto de grãos, e relacionar a CE com os teores de argila medidos pelo método do densímetro, em amostras georreferenciadas de solo. As amostras foram coletadas numa área de 13 ha, por meio de uma grade de 40x40 m e de grades de 20x20 m, 10x10 m e 5x5 m. A continuidade espacial da CE e do teor de argila foi modelada com o uso de semivariogramas. A CE variou de 1,9 a 13,7 mS m⁻¹, com valor médio de 5,2 mS m⁻¹ e coeficiente de variação de 48%. O mapa interpolado mostrou tendência de aumento da CE com o aumento dos teores de argila. Os coeficientes de determinação foram de 0,78 e 0,77 entre CE e teor de argila, camadas 0–5 e 5–10 cm, respectivamente. O mapa da CE reflete suficientemente a variação espacial dos teores de argila para uso na delimitação de zonas de manejo.

Termos para indexação: geoestatística, granulometria, agricultura de precisão, sensores de campo.

Electrical conductivity mapping in relation to clay of a Ferralsol under no tillage system

Abstract – The objective of this work was to map and evaluate the spatial variability of the soil electrical conductivity (EC), measured with a contact sensor in a Rhodic Ferralsol under no till grain crops. The values of soil EC were related to soil clay content, measured by the densimetric method in georeferenced samples collected at 0–5 and 5–10 cm, in a 13 ha field. Soil samples were collected using a 40x40 m grid and denser grids of 20, 10 and 5 m spacing. Spatial continuity of EC and of clay content was modeled using semivariograms. Soil EC ranged from 1.9 to 13.7 mS m⁻¹ with an average of 5.2 mS m⁻¹ and coefficient of variation of 48%. The kriged map of soil EC pointed out a tendency of increase where clay levels were higher. Determination coefficients between soil EC and clay content were 0.78 and 0.77, respectively for 0–5 and 5–10 cm depth. The EC map adequately reflects the spatial variation in soil texture for establishing the limits of management zones.

Index terms: geostatistics, particle size, precision agriculture, field sensors.

Introdução

Com o aperfeiçoamento dos computadores, o surgimento dos sistemas de posicionamento global (GPS) e programas geoestatísticos, o mapeamento de determinadas características ou propriedades dos solos passou a ser factível, o que tornou possível a obtenção de

mapas de colheita e o estabelecimento de zonas de manejo do solo ou da planta. Zonas de manejo são áreas numa propriedade agrícola ou talhão de uma propriedade que possuem atributos de relevo e de solo com menor heterogeneidade (Luchiari Junior et al., 2000).

Em relação ao solo, o mapeamento de suas características ou propriedades depende, ainda, de amostragens

trabalhosas e de custo elevado, que podem ser impraticáveis em muitas lavouras. Os recentes avanços tecnológicos em sensores portáteis, para as medições das características de solo em escala de campo e em tempo real, têm atraído a atenção da pesquisa, na busca pela implementação bem sucedida da agricultura de precisão (Vanden Heuvel, 1996).

O mapeamento da condutividade elétrica (CE) com auxílio de GPS é uma ferramenta relativamente simples, que tem sido utilizada para estimar a textura do solo, além de outras propriedades (McBride et al., 1990; Lund et al., 1999). Alguns equipamentos móveis para medição da CE no campo têm sido utilizados na agricultura, dentre os quais se destacam o sensor de contato VERIS (Lund et al., 2001) e o sensor por indução EM38 (Kitchen et al., 1999).

No entanto, a determinação da CE do solo obtida com equipamentos móveis de campo, também denominada de condutividade elétrica aparente, é diferente da determinação da CE do solo obtida em laboratório com a pasta de saturação ou com extratos aquosos de solo (Rhoades, 1996; Embrapa, 1997). A medição com equipamentos móveis é obtida *in situ*, em condições reais de campo e representa a CE da massa e não apenas da solução do solo. Por sua vez, CE medida em laboratório difere da determinada *in situ*, pois permite a padronização da relação solo-água. Entretanto, ambas as determinações integram os efeitos da argila (tipo e quantidade) e teor de sais (cátions e ânions solúveis) resultando, assim, em significativa correlação (Johnson et al., 2001).

Estudos realizados no Sudeste da Austrália demonstraram a alta correlação existente entre a CE e o teor de argila (Williams & Hoey, 1987). Shaw & Mask (2003), ao avaliar o desempenho do sensor VERIS, modelo 3100, na medição da CE de solos ácidos do Tennessee, EUA, sob plantio direto, constataram que a palha que cobre o solo, neste sistema de manejo, não causou impacto significativo nas medições da CE.

O objetivo deste trabalho foi mapear e avaliar a variabilidade espacial da CE, medida por meio de sensor de contato, e relacionar os valores da CE com os teores de argila de um Latossolo Vermelho sob o sistema plantio direto.

Material e Métodos

O estudo foi realizado na Fazenda Tabatinga, na região de Campos Gerais, no Município de Carambeí, PR

(24°51'45"S e 50°15'58"W; 615 a 870 m de altitude). O tipo de solo da área de estudo, de acordo com Bognola et al. (2004), é o Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) (Figura 1). Bognola et al. (2004) observaram que os Latossolos Vermelhos, nessa região, são desenvolvidos tanto de rochas sedimentares, de granulação fina, refe-

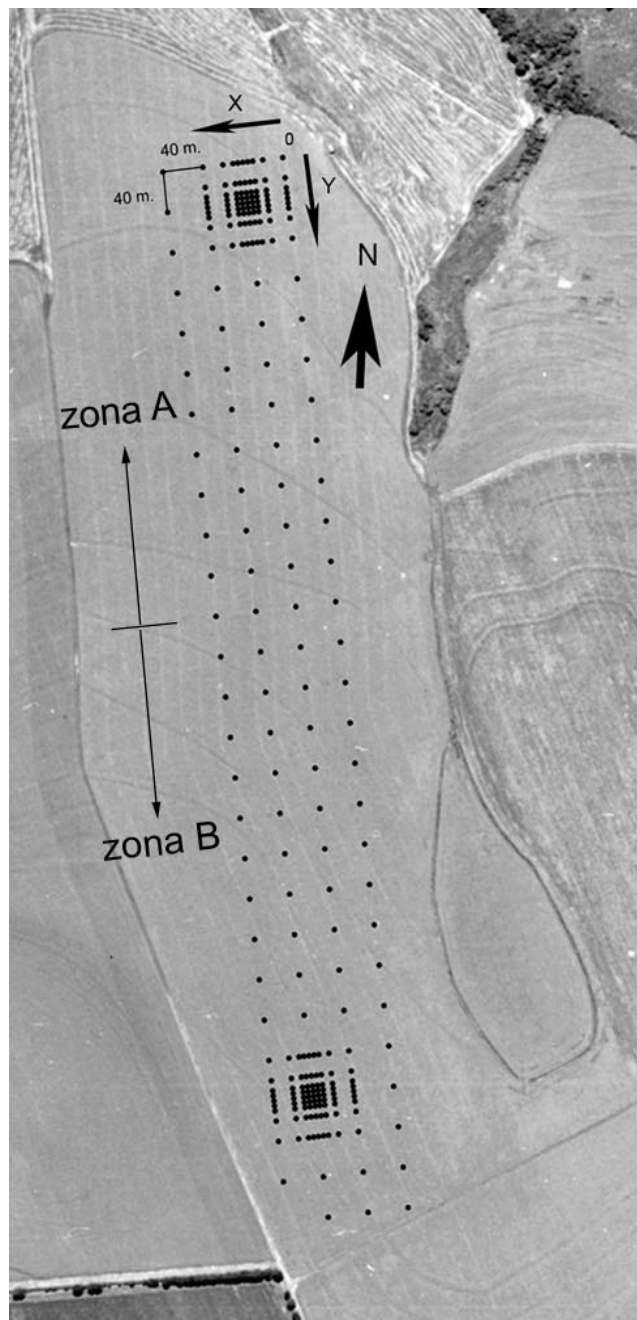


Figura 1. Ortofoto da área de estudo e esquema das grades de amostragens adotadas.

rentes ao Permiano, mais especificamente à Formação Ponta Grossa, quanto de rochas do Pré Cambriano, representadas por granitos subalcalinos e alcalinos e, provavelmente, por migmatitos e sienitos.

Na área de estudo, o sistema plantio direto vem sendo utilizado desde 1988, com o plantio de soja em rotação com milho, trigo e aveia preta.

A malha de amostragem foi composta de uma grade maior, com células de 40x40 m, num total de 107 pontos de amostragem em 13 ha. Observou-se duas áreas com diferenças de textura e, nessas áreas, foram estabelecidas duas novas malhas de amostragem, com subdivisões de 20x20, 10x10 e 5x5 m, perfazendo, assim, um total de 72 pontos de amostragem para cada grade menor (Figura 1). Cada ponto de amostragem foi georreferenciado com aparelho GPS Trimble Geoexplorer 3C, com precisão de 2 m, e as amostras de solo para a determinação do teor de argila foram coletadas em três camadas (0–5, 5–10 e 10–20 cm), abrindo-se uma trincheira em cada ponto da grade de amostragem. Nas amostras, foram determinados os teores de argila pelo método do densímetro, conforme Embrapa (1997).

A condutividade elétrica da área foi obtida depois da dessecação da planta de cobertura (aveia-preta), em outubro de 2002, por meio de equipamento de mensuração por contato VERIS 3100 (Veris Technologies, EUA).

Durante a medição na lavoura, a superfície do solo apresentava cobertura morta de aveia e consistência friável. O equipamento VERIS 3100 consistia de seis discos rotativos, dispostos lado a lado num eixo que fazia contato com o solo a uma profundidade de 7 cm. O equipamento foi acoplado a um trator e arrastado no terreno, para se fazer as medições contínuas da CE do solo numa série de transectos paralelos, numa área de 36 ha, que incluía a área de amostragem, para a determinação do teor de argila (13 ha).

Antes do início das medições na área, o equipamento VERIS foi calibrado conforme instruções do fabricante. O funcionamento do equipamento consiste na emissão de uma corrente elétrica pelos dois discos intermediários, enquanto os dois discos internos e dois discos externos detectam a diferença de potencial, que ocorre no campo eletromagnético gerado no solo resultante da corrente elétrica aplicada. O par de discos internos integra a resistência entre as profundidades de 0 e 30 cm, enquanto o par de discos externos integra a resistência entre 0 e 90 cm.

Segundo Castro (2004), o programa do coletor de dados do equipamento realiza a conversão da queda de voltagem, ocorrida no solo, para a CE, de acordo com a equação:

$$\rho = IL/AV \quad (1)$$

em que ρ é a condutividade elétrica do solo (mS m^{-1}); I é a corrente elétrica aplicada pelo sensor ao solo (ampère); L é o espaçamento entre os pares de eletrodos de medição (m); A é área da seção transversal dos eletrodos de medição, dos discos rotativos, em contato com o solo (m^2); e V é a diferença de potencial do campo eletromagnético gerado no solo, medida pelos pares de eletrodos de medição (volts).

O sistema georreferencia as medições da CE com um receptor GPS e armazena os dados resultantes em formato digital. Para armazenamento das leituras georreferenciadas de CE, o sistema utiliza um equipamento coletor de dados próprio, que possui um microprocessador 386SX, com capacidade de leitura contínua de 26 horas de dados obtidos no campo. O coletor de dados grava a latitude, longitude e os valores de CE do solo (mS m^{-1}), para as profundidades de 0–30 cm e 0–90 cm, coletados a intervalos de um segundo, em formato de texto ASCII. Considerando-se uma velocidade média de coleta de dados de CE de 0,44 m por segundo, aproximadamente 250 medições de CE são obtidas por hectare. Para este trabalho, foram utilizados somente os valores de CE mais superficiais (0–30 cm), pois se aproximavam mais das amostras coletadas para a quantificação do teor de argila.

Com objetivo de testar a presença de anisotropia, a continuidade espacial da CE e do teor de argila, nas profundidades 0–5 e 5–10 cm, foi estimada usando-se dois semivariogramas direcionais perpendiculares, na direção dos eixos principais da grade maior.

O ajuste dos parâmetros do modelo de semivariograma foi obtido usando-se o programa Variowin 2.2 (Pannatier, 1996), por meio de procedimento padronizado do quadrado médio ponderado. Neste procedimento, foi determinado um indicador da bondade de ajuste do semivariograma, por meio da função quadrática média, padronizada pela variância dos dados, ponderada pelo número de pares em cada distância (lag) e o inverso da distância média do lag. Valores próximos de zero indicam um adequado ajuste do semivariograma.

O programa S PLUS 2000 foi utilizado para a confecção de diagramas tipo caixa (*box plots*) que, diferentemente dos valores da média e do desvio-padrão, evidenciam a simetria de um conjunto de dados e identificam valores dispersos (Sokal & Rohlf, 1995).

O teor de argila foi interpolado espacialmente, para cada zona, em duas grades de 10x10 m. O método usado foi a krigagem ordinária (Deutsch & Journel, 1992). No caso da CE, uma única grade com células de 10x10 m foi considerada. Posteriormente, as grades estimadas para cada zona foram unidas, e mapas de isolinhas foram gerados para cada atributo e profundidade, utilizando-se o programa Surfer 8.05.

Os pontos da grade de amostragem não coincidem com os pontos de mensuração do VERIS. Para comparar os valores da CE e do teor de argila, foi calculado o valor médio das mensurações da CE dentro de uma vizinhança, para cada ponto da grade de amostragem. Gráficos de dispersão foram construídos entre os valores médios da CE e o teor de argila, para cada profundidade, e ajustado um polinômio usando-se o programa Grapher 4.03. A variabilidade espacial conjunta do CE e argila, para cada profundidade e zona, foi avaliada usando-se semivariogramas cruzados (Deutsch & Journel, 1992).

Resultados e Discussão

A CE na camada de solo de 0–5 cm foi de 1,9 a 13,7 mS m⁻¹, com valor médio de 5,2 mS m⁻¹ e alto coeficiente de variação (48%). Os valores de CE obtidos neste trabalho concordam com valores normalmente observados para latossolos.

Benites & Mendonça (1998) obtiveram valor de CE próximo a 1,7 mS m⁻¹, num Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico argiloso, com teor de carbono orgânico de 5,8 g kg⁻¹.

O semivariograma experimental e o modelo onidirecional ajustado para a CE são apresentados na Figura 2. O mapa interpolado da CE mostrou um padrão de tendência, com aumento (cor vermelha a preta) no sentido Sul e com um alcance de 160 m (Tabela 1). Observa-se, ainda, uma faixa com valores relativamente altos de CE ao longo do terreno, mas apenas a Leste, coincidentemente adjacente a uma estrada rural (Figura 2).

O teor médio de argila aumentou, enquanto o coeficiente de variação diminuiu, com a profundidade do solo (Tabela 2). Essa tendência também foi constatada para os teores médios de argila da zona A (norte) e B (sul). O teor de argila na camada de 0–5 cm apresentou o maior intervalo, tendo variado de 160 (zona A) a 750 g kg⁻¹ (zona B), mas o coeficiente de variação na zona A, para esta profundidade, foi maior (26,7%) que na zona B (9,5%).

Estudos sobre a variabilidade espacial de teor de argila não são recentes. Libardi et al. (1986), ao utilizar análise geoestatística, também constataram variabilidade espacial do teor de argila (coeficiente de variação de 7,3%), na camada de 25–35 cm, ao longo de uma transeção com 2 m de largura e 150 m de comprimento, em Terra Roxa Estruturada. Num estudo realizado em Latossolo Vermelho perférico, argiloso, na camada de 0–5 cm, Silveira & Cunha (2002) também observaram baixo coeficiente de variação (8,0 a 8,6%).

O maior coeficiente de variação obtido neste trabalho provavelmente se deve à maior grade de amostragem adotada. Os dados de variabilidade do teor de argila apresentados por Albuquerque et al. (1996), apesar de obtidos em Podzólico Vermelho-Amarelo, poderiam corroborar esta explicação, pois os autores constataram coeficiente de variação de 27,3% para a fração argila, na camada de 0–20 cm. Estes resultados comprovam a diferença textural identificada visualmente no início dos trabalhos, e que motivou a amostragem mais densa em duas grades menores.

Os semivariogramas experimentais direcionais para o teor de argila não mostraram padrão anisotrópico em todos os casos e, portanto, considerou-se a modelagem do semivariograma experimental onidirecional. Na Figura 3, são apresentados todos os semivariogramas para o teor de argila, nas diferentes profundidades, e mapas da estimativa espacial obtida por krigagem ordinária para essa variável.

Os alcances dos semivariogramas da concentração de argila na zona mais arenosa (zona A) foram

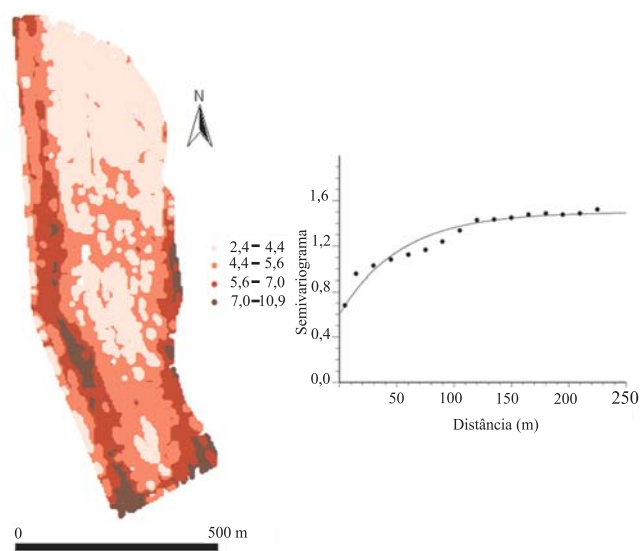


Figura 2. Mapa interpolado e semivariograma da condutividade elétrica (em mS m⁻¹) medida com equipamento móvel de mensuração por contato.

menores que os observados na zona B e também apresentaram uma tendência à diminuição em profundidade (91, 82 e 66 m, para 0–5, 5–10 e 10–20 cm, respectivamente (Tabela 1).

Os alcances dos semivariogramas tendem a diminuir com a redução da concentração de argila no solo, e a partir disso a variância dos dados se torna constante e aleatória com as distâncias entre as amostras, não havendo mais dependência espacial.

Todos os semivariogramas demonstraram que a concentração de argila, nas diferentes profundidades, apresenta forte correlação no espaço e indicam que uma grade de amostragem de 60 m pode ser adequada para a interpolação dessa variável, nas três profundidades na zona A, e de 100 m para a zona B.

Tabela 1. Modelos de semivariogramas e parâmetros ajustados para condutividade elétrica (CE, mS m⁻¹) e concentração de argila (g kg⁻¹), em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho.

Variável	Modelo	Alcance (m)	C ₀ ⁽¹⁾	C ⁽²⁾	Patamar ⁽³⁾	Bondade de ajuste
Argila 0–5 cm						
Zona A	Gaussiano	91	839	13.439	14.278	0,005
Zona B	Gaussiano	114	528	3.068	3.596	0,011
Argila 5–10 cm						
Zona A	Gaussiano	82	1.080	11.280	12.360	0,011
Zona B	Gaussiano	117	120	4.000	4.120	0,045
Argila 10–20 cm						
Zona A	Gaussiano	66	280	12.040	12.320	0,008
Zona B	Gaussiano	117	210	770	980	0,044
CE	Exponencial	160	0,6	0,9	1,5	- ⁽⁴⁾

⁽¹⁾C₀: efeito pepita. ⁽²⁾C: contribuição. ⁽³⁾Patamar: C₀ + C. ⁽⁴⁾Não determinado em razão da grande quantidade de pares de dados.

Tabela 2. Média, intervalo e coeficiente de variação (CV) do teor de argila (g kg⁻¹), em três camadas de Latossolo Vermelho.

Atributo	Camada de solo		
	0–5 cm	5–10 cm	10–20 cm
	Média		
Argila área total	489	516	555
Argila zona A	362	399	442
Argila zona B	612	631	667
	Intervalo ⁽¹⁾		
Argila área total	180–700	160–700	180–720
Argila zona A	180–600	160–600	180–640
Argila zona B	460–700	400–750	500–720
	CV		
Argila área total	31	28	26
Argila zona A	32	27	26
Argila zona B	8	9	5

⁽¹⁾O intervalo apresentado se refere aos valores mínimo e máximo do atributo.

Na análise exploratória verificou-se que, para todas as profundidades, houve variação espacial dos teores de argi-

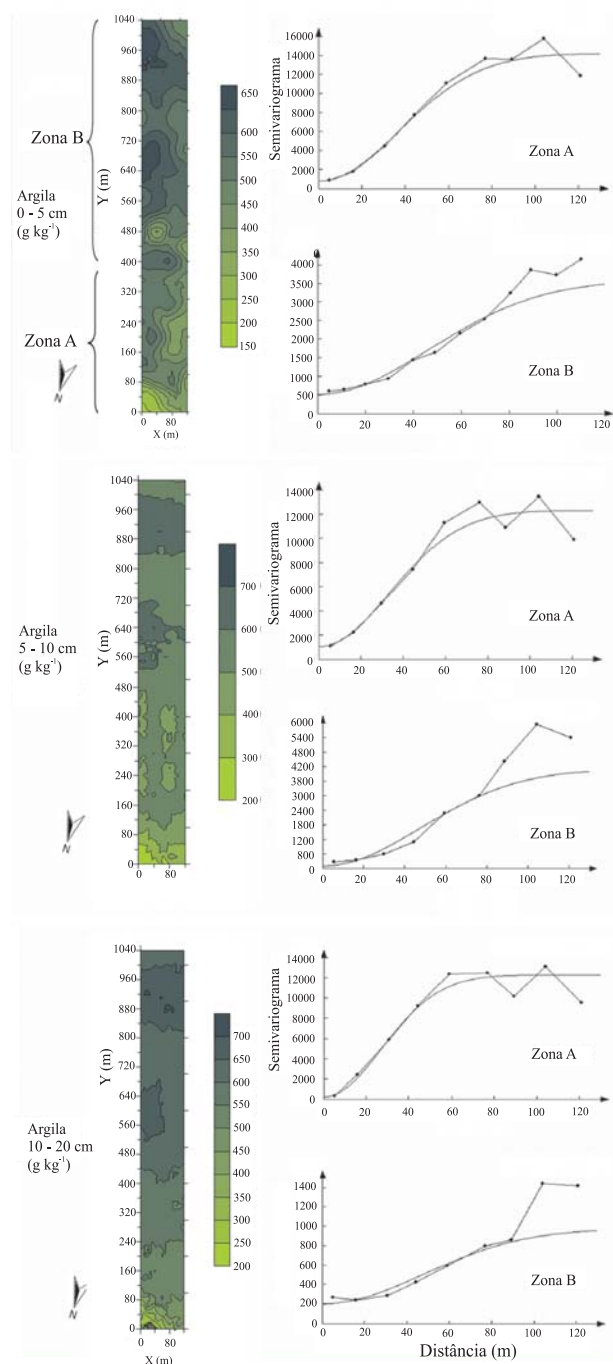


Figura 3. Mapas interpolados por krigagem ordinária, semivariograma experimental (●) e modelo ajustado (—) do teor de argila de Latossolo Vermelho distroférrico, nas profundidades 0–5, 5–10 e 10–20 cm. Zona A: 0–400 m no eixo Y; zona B: 400–1.040 m no eixo Y.

la, com aumento no sentido sul, similar à CE medida pelo equipamento de mensuração por contato. Entretanto, analisando-se a simetria do conjunto de dados de argila e CE, para as duas zonas (Figura 4), constata-se na zona B (mais argilosa) que há alta variabilidade na CE e, principalmente, no teor de argila (presença de dois e três valores extremos nas camadas de 0–5 e 5–10 cm, respectivamente), além dos bigodes e das caixas superiores e inferiores à mediana, na zona B, serem mais assimétricas que na zona A (mais arenosa).

Considerando-se que os outros fatores (umidade, concentração de sais, carbono total) permaneçam nas mesmas condições, solos com teores mais elevados de argila conduzem mais eletricidade do que aqueles de textura mais arenosa. Segundo Kachanoski et al. (1988), os íons presentes na dupla camada difusa de partículas de argila são capazes de conduzir eletricidade, mesmo sob baixos teores de água no solo, ao passo que a areia praticamente não apresenta esta característica. Assim, os resultados de CE em solos argilosos são, geralmente, mais altos que em solos mais arenosos.

O melhor ajuste entre a CE e o teor de argila é dado por um polinômio de ordem 2 (Figura 5). Os coeficientes de determinação (R^2) entre CE (mS m^{-1}) e o teor de argila (g kg^{-1} solo), nas camadas 0–5 e 5–10 cm, foram 0,77 e 0,78, respectivamente. Johnson et al. (2001), num estudo similar realizado em Chernossolos Argilúvicos do Estado do Colorado, EUA, com teor de argila de 122 a 388 g kg^{-1} , obtiveram, também, alta correlação linear significativa (a 0,1% de probabilidade), entre os valores de argila e a CE medida pelo VERIS.

Observa-se que a relação entre CE e argila, na zona A, é praticamente linear nas duas profundidades, e a associação é positiva. Na zona B, entretanto, essa associação tende a ser negativa, mas é altamente variável. Isto pode ser melhor observado na Figura 6, em que os semivariogramas cruzados para CE e argila tomam valores positivos para a zona A (teor de argila de 160 a 640 g kg^{-1}), mas os semivariogramas para a zona B (teor de argila de 400 a 750 g kg^{-1}) mostram uma relação negativa entre esses atributos.

Todos os semivariogramas cruzados mostram pouca variabilidade espacial até 40 m, sendo esta continuidade maior na zona B em que, provavelmente, outras variá-

veis (ex. carbono total) apresentaram maior influência na variação da CE que o teor de argila. Em geral, com o aumento do teor de argila há, também, incremento no

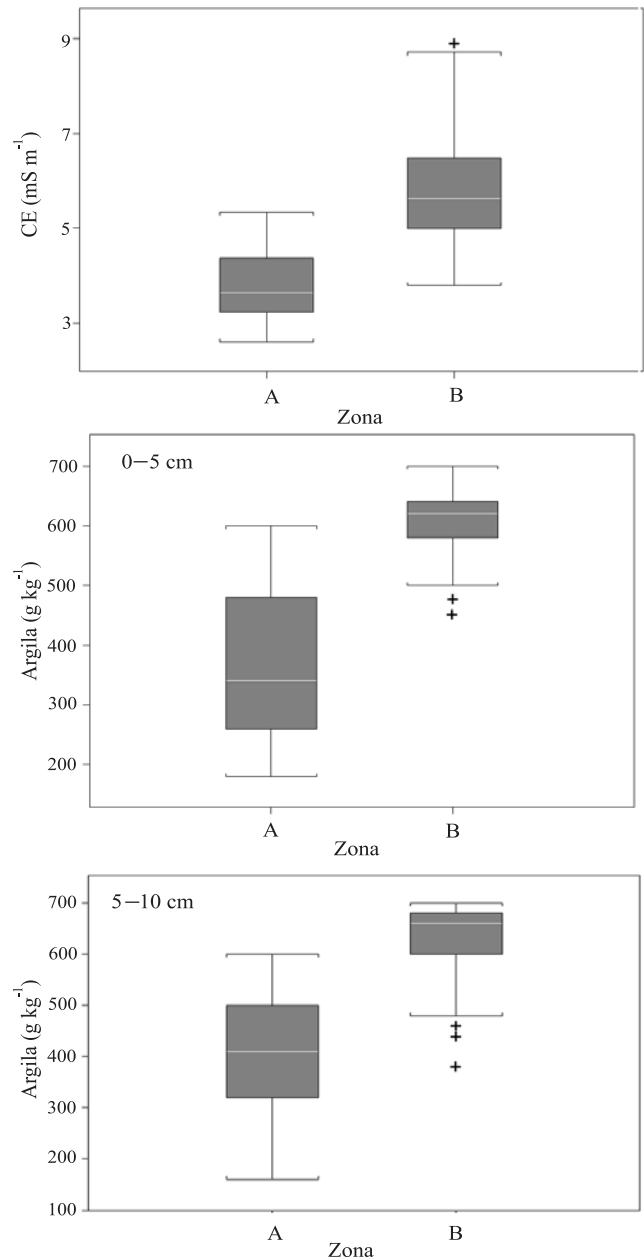


Figura 4. Diagrama de caixas para os valores da condutividade elétrica (CE) do solo, medida por equipamento móvel e teor de argila, em duas profundidades de um Latossolo Vermelho distroférrico para as zonas A e B. Caixas são divididas por mediana e os bigodes (*whiskers*) indicam a amplitude dos dados. Valores segregantes (*outliers*) estão indicados pelo símbolo +.

teor de carbono orgânico nos solos brasileiros (Raij, 1991), e vários trabalhos têm demonstrado que a elevação do teor de carbono orgânico gera aumento na CE, nesses solos (Benites & Mendonça, 1998; Oliveira et al., 2002).

Na área de estudo, o teor de carbono orgânico variou de 11,9 a 38,2 g kg⁻¹ na camada de solo de 0–5 cm (Machado et al., 2004). Segundo Johnson et al. (2001), os principais fatores que afetam a CE medida podem ser divididos em componentes estáticos (ex. teor de argila) e dinâmicos (ex. umidade do solo e salinidade) e, em alguns casos, dificilmente se encontrará alta correlação entre a CE e uma componente, individualmente, num determinado ponto. Entretanto, o mapa interpolado

da CE (Figura 2) demonstra que a maior parte dos valores mais baixos de CE (cor rosa) se encontram mais ao Norte, onde se observam também menores quantidades de argila (Figura 3). Assim, o mapeamento da CE pode ser uma ferramenta útil no delineamento de áreas mais homogêneas, que apresentam condições de solo mais similares.

Em vista do grande número de amostras de solos necessárias para se ter uma estimativa das condições gerais do solo numa lavoura, a amostragem em grade é laboriosa e de custo relativamente alto, incluída a análise do teor de argila do solo. Segundo Johnson et al. (2001), uma maneira de se reduzir esses custos é minimizar o número de amostras necessárias, por meio de amostragens em zonas de manejo. Diferentemente do sensoriamento remoto, ou sensores óticos e radiométricos aéreos ou por satélites, que sofrem interferência da cobertura morta na superfície do solo (Adamchuk et al., 2004), o mapeamento da CE é adequado para o delineamento da variabilidade espacial de características do solo, para o estabelecimento de zonas de manejo. O espaçamento dos transectos, para as medições da CE pelo equipamento, afetam a qualidade dos mapas de CE e devem ser objetos de estudos futuros (Mueller et al., 2004).

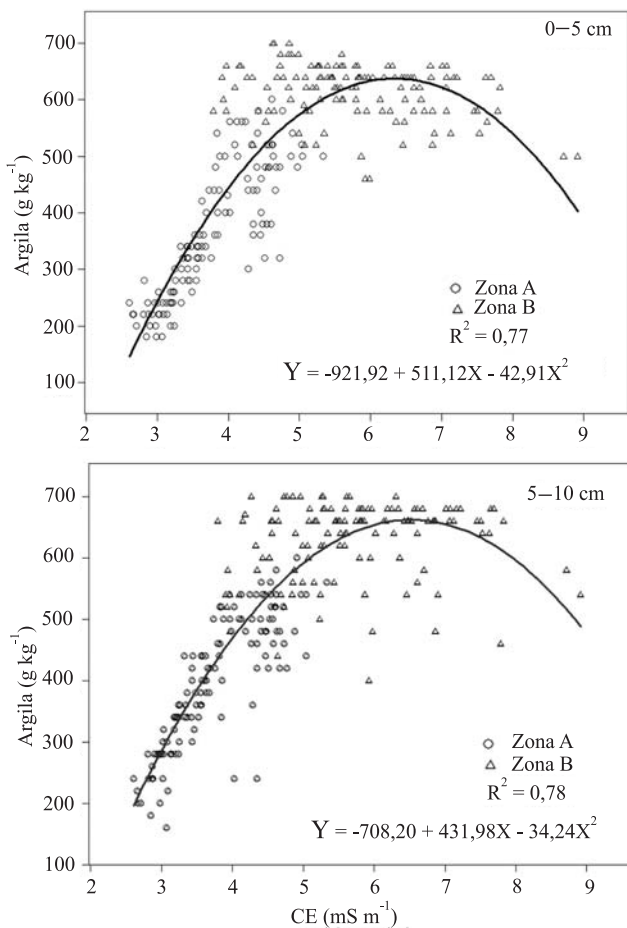


Figura 5. Ajuste polinomial e coeficiente de determinação (R^2) entre o teor de argila e condutividade elétrica (CE) do solo, medida por equipamento móvel, nas camadas de 0–5 e 5–10 cm.

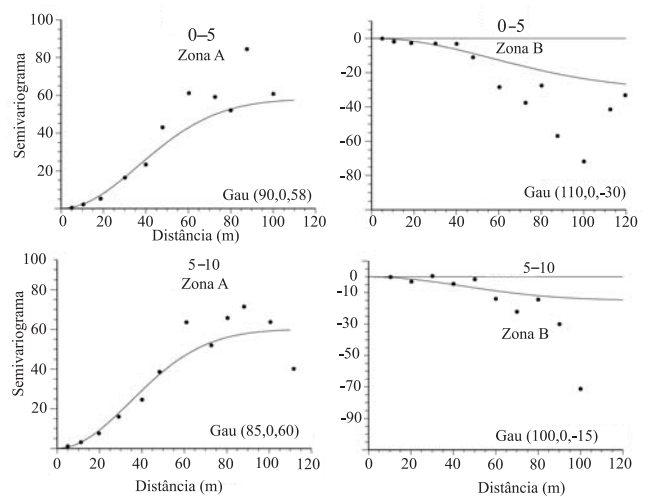


Figura 6. Semivariogramas cruzados experimentais onidirecionais para o teor de argila ($g\ kg^{-1}$) versus condutividade elétrica ($mS\ m^{-1}$) do solo, nas profundidades de 0–5 e 5–10 cm, nas zonas A e B. Gau: Modelo gaussiano (alcance, efeito pepita, patamar).

Conclusões

1. A condutividade elétrica medida por sensor de contato reflete adequadamente a variação nos teores de argila do Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto, para uso na definição de zonas de manejo.

2. A medição da condutividade elétrica com sensor de contato apresenta melhor desempenho no Latossolo Vermelho distroférico com menor teor de argila.

Agradecimentos

Ao produtor rural, Sr. Geraldo Slob (Carambeí, PR); ao Programa Prodetab e à Faperj, pelo auxílio financeiro; à Fundação Giacometti e aos Srs. Volnei Pauletti (Fundação ABC, Castro, PR) e José Carlos Sguarioro Junior (Grupo Agro Elf), pelo apoio técnico administrativo.

Referências

- ADAMCHUK, V.I.; HUMMEL, J.W.; MORGAN, M.T.; UPADHYAYA, S.K. On-the-go soil sensors for precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.44, p.71-91, 2004.
- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E. Variabilidade de solo e planta em Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.151-157, 1996.
- BENITES, V.M.; MENDONÇA, E.S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.215-221, 1998.
- BOGNOLA, I.A.; FASOLO, P.J.; BHERING, S.B.; MARTORANO, L.G. Solos, clima e vegetação da região de Campos Gerais. In: MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A.C.C.; SILVA, C.A. (Ed.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p.57-75.
- CASTRO, C.N. **Definição de unidades de gerenciamento do solo por meio da sua condutividade elétrica e variáveis físico-químicas**. 2004. 131p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- DEUTSCH, C.V.; JOURNEL, A.G. **GSLIB geostatistical software library and user's guide**. New York: Oxford University Press, 1992. 340p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ, 1997. 212p.
- JOHNSON, C.K.; DORAN, J.W.; DUKE, H.R.; WIENHOLD, B.J.; ESKRIDGE, K.M.; SHANAHAN, J.F. Field-scale electrical conductivity mapping for delineating soil condition. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.1829-1837, 2001.
- KACHANOSKI, R.G.; GREGORICH, E.G.; VAN WESENBEECK, I.J. Estimating spatial variations of soil water content using non-contacting electromagnetic inductive methods. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 68, p.715-722, 1988.
- KITCHEN, N.R.; SUDDUTH, K.A.; DRUMMOND, S.T. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. **Journal of Production Agriculture**, v.12, p.607-617, 1999.
- LIBARDI, P.L.; PREVEDELLO, C.L.; PAULETTO, E.A.; MORAES, S.O. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.85-90, 1986.
- LUCHIARI JUNIOR, A.; SHANAHAN, J.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J.; LIEBIG, M.; SCHEPERS, A.; PAYTON, S. Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Bloomington. **Proceedings**. Bloomington: ASA, CSSA, SSSA, 2000. 1 CD-ROM.
- LUND, E.D.; COLIN, P.E.; CHRISTY, C.; DRUMMOND, P.E. Applying soil electrical conductivity technology to precision agriculture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, Madison. **Proceedings**. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1999. p.1089-1100.
- LUND, E.D.; WOLCOTT, M.C.; HANSON, G.P. Applying nitrogen site-specifically using soil electrical conductivity maps and precision agriculture technology. **Scientific World**, v.1, p.767-776, 2001. Supplement 2.
- MACHADO, P.L.O.A.; SILVA, C.A.; BERNARDI, A.C.C.; CARMO, C.A.F.S.; VALENCIA, L.I.O.; MEIRELLES, M.S.P.; MOLIN, J.P.; PAULETTI, V.; GIMENEZ, L.M. Variabilidade de atributos de fertilidade e espacialização da recomendação de adubação e calagem para a soja. In: MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A.C.C.; SILVA, C.A. (Ed.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p.115-129.
- McBRIDE, R.A.; GORDON, A.M.; SHRIVE, S.C. Estimating forest soil quality from terrain measurements of apparent electrical conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v.54, p.290-293, 1990.
- MUELLER, T.G.; MIJATOVIC, B.; SEARS, B.G.; PUSULURI, N.; STOMBAUGH, T.S. Soil electrical conductivity map quality. **Soil Science**, v.169, p.841-851, 2004.
- OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ABREU JUNIOR, C.H. Alterações em atributos químicos de um Latossolo pela aplicação de composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.529-538, 2002.

- PANNATIER, Y. **Variowin**: software for spatial data analysis in 2D. New York: Springer Verlag, 1996. 91p.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343p.
- RHOADES, J.D. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. In: SPARKS, D.L. (Ed.). **Methods of soil analysis**: part 3, chemical methods. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.417-435. (Soil Science Society of America book series, n.5).
- SHAW, J.N.; MASK, P.L. Crop residue effects on electrical conductivity of Tennessee Valley soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.34, p.747-763, 2003.
- SILVEIRA, P.M.; CUNHA, A.A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um Latossolo submetido a sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1325-1332, 2002.
- SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. **Biometry**. San Francisco: W.H. Freeman, 1995. 675p.
- VANDEN HEUVEL, R.M. The promise of precision agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.51, p.38-40, 1996.
- WILLIAMS, B.G.; HOEY, D. The use of electromagnetic induction to detect the spatial variability of the salt and clay contents of soils. **Australian Journal of Soil Research**, v.25, p.21-27, 1987.

Recebido em 3 de março de 2005 e aprovado em 20 de dezembro de 2005