



Integração espacial de dados para agricultura de precisão na Unidade Piloto com cana-de-açúcar, Mogi Mirim, SP

Célia Regina Grego*¹, Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues*¹, Carlos Manoel Pedro Vaz*², Luiz Eduardo Vicente*¹, Sandro Manuel Carmelino Hurtado*³, Ladislau Marcelino Rabello*², Sandro Roberto Brancalhão*⁴, Lúcio André de Castro Jorge*², Ricardo Bernardo Affonso*⁵

¹Pesquisadores, Embrapa Monitoramento por Satélite, Av. Soldado Passarinho, 303, Jardim Chapadão, Campinas, SP

²Pesquisadores, Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos, SP

³Pos-doutorando, Instituto Agrônômico. Av. Barão de Itapura, 1481, Campinas, SP

⁴Pesquisador, Instituto Agrônômico, Centro de Cana, Rodovia Antonio Duarte Nogueira km 321, Ribeirão Preto SP

⁵Bolsista de Iniciação Científica, Embrapa Monitoramento por Satélite, Av. Soldado Passarinho, 303, Jardim Chapadão, Campinas, SP

*E-mails: celia.grego@embrapa.br, cristina.rodrigues@embrapa.br, luiz.vicente@embrapa.br, carlos.vaz@embrapa.br, ladislau.rabello @embrapa.br, lucio.jorge@embrapa.br, sandroelbat@gmail.com, brancaliao@iac.sp.gov.br, ricardo.affonso1@gmail.com

Resumo: Uma das principais aplicações da agricultura de precisão na cana-de-açúcar é a identificação da variabilidade espacial dos fatores de produção. O objetivo do trabalho foi a integração de informações espaciais de solo e planta para identificação das zonas homogêneas na Unidade Piloto com cana-de-açúcar, Mogi Mirim, SP. Os dados foram coletados na área com cana-de-açúcar na safra 2011/2012 com grade mínima de 90 pontos. Foram coletadas amostras de solo e planta: granulometria (15 cm); densidade do solo (15 e 30 cm); resistência à penetração do solo (0-10, 10-20 e 20-30 cm); número de colmos (colmos m⁻²); índice de vegetação (NDVI) pelo sensor Crop Circle; condutividade elétrica do solo pelo sensor Veris (30 e 90 cm). De acordo com os resultados houve dependência espacial para a maioria dos atributos do solo e da planta, e a interpolação permitiu visualizar a divisão da área em duas partes, uma ao norte da área e outra ao sul, separadas pela pedreira identificada na imagem de satélite e na imagem do veículo aéreo não tripulado. Também foram identificadas duas regiões distintas quanto ao número de colmos e o índice de vegetação. A condutividade elétrica apresentou dependência espacial de fraca a nula e não foi identificada relação espacial com os demais atributos. Assim, a partir da análise geoestatística, foi possível a identificação de duas zonas homogêneas, o que pode vir a auxiliar na tomada de decisão quanto ao manejo localizado da propriedade agrícola estudada.

Palavras-chave: geoestatística, interpolação por krigagem, variabilidade espacial, zonas homogêneas

Spatial integration dataset for the sugar cane precision farming unit in Mogi Mirim, SP

Abstract: A major application of precision agriculture of sugar cane is the identification of the spatial variability of factors production. The aim was the integration of spatial information of soil and plant to identify homogenous zones in the Pilot with cane sugar, Mogi Mirim, SP. Data were collected in the area with cane sugar in the 2011/2012 season with a minimum grid of 90 points. Samples were collected from soil and plant: particle soil size (15 cm), soil density (15 and 30 cm), soil penetration resistance (0-10, 10-20 and 20-30 cm), number of culms (stems m⁻²); Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for the Crop Circle sensor; electrical conductivity sensor by Veris (30 and 90 cm). According

to the results there was spatial dependence for most soil properties and plant and view interpolation allowed the division of the area into two parts, one to the north and the other to the south, separated quarry identified on the satellite image and image Unmanned Aerial Vehicle. Were also identified two distinct regions on the number of stems and NDVI. The electrical conductivity showed weak spatial dependence of the null and was not identified spatial relationship with other attributes. Thus, with geostatistical, it was possible to identify two homogeneous zones, which can be useful in the decision making regarding the site specific management of the farm studied.

Keywords: geostatistical, homogeneous zones, kriging interpolation, spatial variability.

1. Introdução

No Brasil, a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) utiliza-se de tecnologia de ponta desde as décadas de 1940 e 1950, principalmente a partir de 1969 e 1975 com a criação dos órgãos Centro de Tecnologia Canavieira e do Proálcool respectivamente, voltadas para o setor da agroindústria da cana-de-açúcar (UNIÃO..., 2013). Mas o uso efetivo da agricultura de precisão, mesmo que, por poucos produtores, começou a partir de 2000 devido aos GNSS mais precisos (SERVIÇO..., 2012).

A agricultura de precisão tem como premissa que a variabilidade de espaço e de tempo influencia nos rendimentos da cultura, devido às diferenças naturais nas áreas de plantio quanto à fertilidade do solo, infiltração de água, nível de compactação e tipos de solo, e às superfícies geomorfológicas ou outros atributos relevantes. Assim, o emprego de geotecnologias na agroindústria canavieira de precisão apresenta-se como um modelo de manejo ou gerenciamento das propriedades canavieiras, sendo fundamental no controle e na organização das atividades, na economicidade e sustentabilidade do sistema, sempre procurando atender as demandas mundiais: maior produtividade e manutenção dos recursos naturais por meio de seu uso racional.

Uma das principais dificuldades nas lavouras de cana-de-açúcar de precisão é a obtenção de correlação da variabilidade espacial da produção com a variabilidade espacial dos atributos dos solos, das plantas e de outros, como a geomorfologia da paisagem (SOUZA; MARQUES JÚNIOR; PEREIRA, 2010) ou como a também existente variabilidade temporal da produção. Isso deve-se à existência de fatores potencialmente intrínsecos ao sistema, como exemplo, o nível de compactação do solo derivado do uso intenso de maquinários pesados na colheita.

Dentre as muitas tecnologias da agricultura de precisão utilizadas em campo para medição precisa da variabilidade espacial do solo juntamente com seu potencial de produção das culturas, temos: receptores GPS e sensores de propriedades físicas do solo acoplados aos tratores que reduzem o tempo e custo de análises, além do fornecimento de informações gráficas contínuas; sensor de umidade do solo TDR; penetrômetro hidráulico-eletrônico de acionamento manual com acoplamento no engate do veículo ou trator (MOLIN; DIAS; CARBONERA, 2012); sensor de mensuração da condutividade elétrica do solo que está associada e por conseguinte, é indicativa da salinidade, da variabilidade da textura do solo, do tamanho e distribuição de poros, da capacidade de troca catiônica, da matéria orgânica e do teor de umidade do solo (MOLIN; FAULIN, 2013). O equipamento como o sensor óptico ativo Crop Circle é utilizado para medição do NDVI das folhas (FRASSON et al., 2007) e estimativa da produtividade da cana-de-açúcar (AMARAL et al., 2012); as imagens remotas de satélite (multiespectrais) e de veículo aéreo não tripulado, são utilizadas principalmente, para verificação de manchas de produção nos talhões e correlação com os dados de campo.

O objetivo do trabalho foi a integração de informações espaciais de solo e planta de cana-de-açúcar para identificação das zonas de manejo e aplicação da agricultura de precisão na Unidade Piloto com cana-de-açúcar, Mogi Mirim, SP.

2. Material e métodos

O trabalho foi realizado na Unidade Piloto (UP) de cana-de-açúcar, um talhão experimental de 17 ha da Fazenda Aparecida em Mogi Mirim, SP conforme ilustrado na Figura 1 referente a imagem

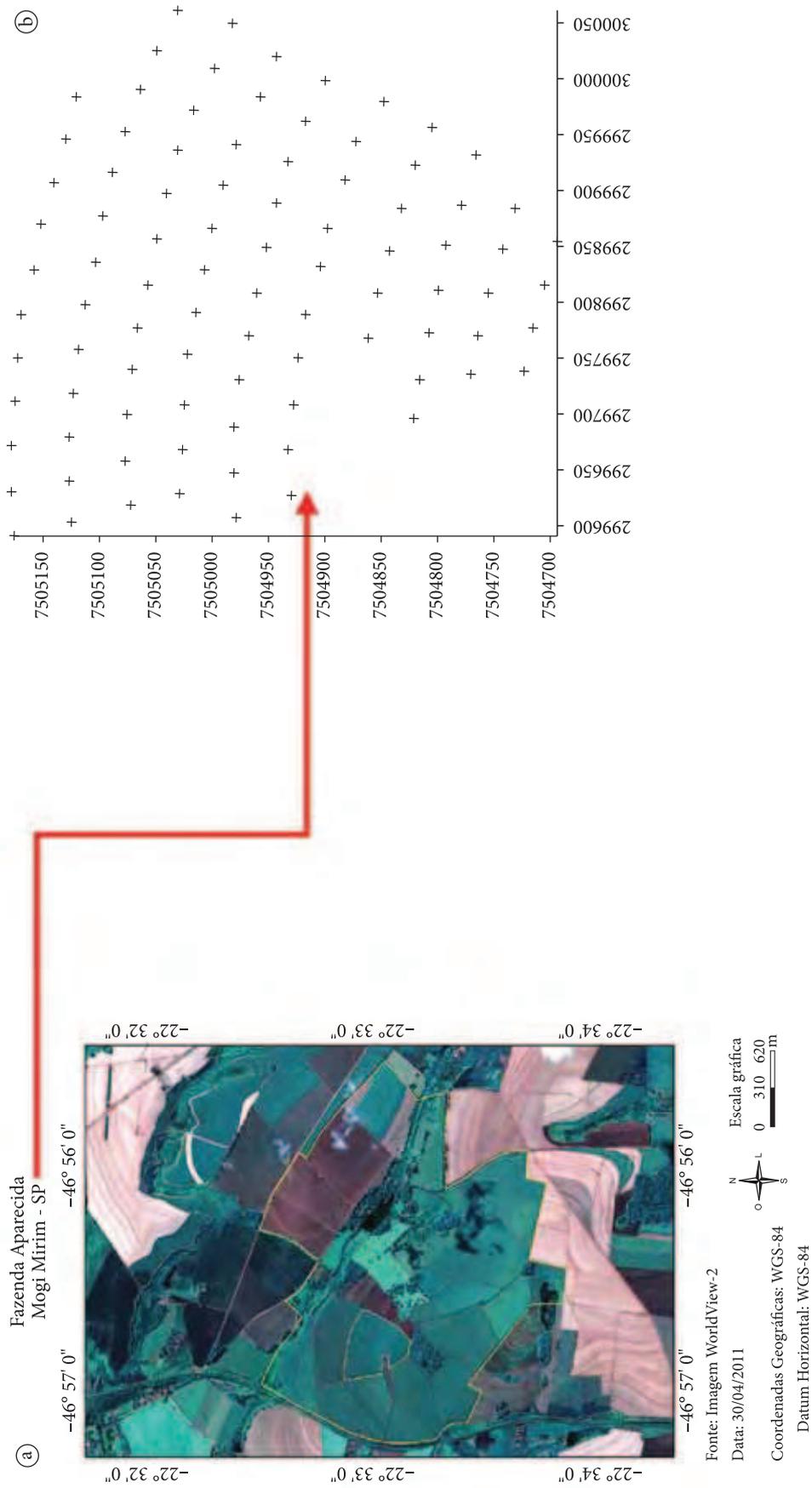


Figura 1. Visualização da imagem WorldView-2 do dia 30 de abril de 2011 referente: a) área da fazenda Aparecida, Mogi Mirim, SP e do talhão experimental da Unidade Piloto de cana-de-açúcar; b) 90 pontos georreferenciados de coleta de amostras de campo.

de satélite do dia 30 de abril de 2011 obtida pelo satélite WorldView-2.

Os dados de solo e planta foram coletados nas safras da cultura da cana-de-açúcar de 2011/2012 nos 90 pontos. O sistema de colheita foi o mecanizado sem queima e o manejo do solo, plantio direto.

Foram coletadas amostras de solo em fevereiro de 2012 para a determinação dos atributos físicos do solo:

- granulometria (15 cm de profundidade): argila ($g\ g^{-1}$), silte ($g\ g^{-1}$), areia ($g\ g^{-1}$) segundo método de (BOUYOCOS, 1927)
- densidade do solo: densidade ($g\ cm^{-3}$) a 15 cm e a 30 cm de profundidade pelo método do anel volumétrico (CAMARGO et al., 1986)
- resistência à penetração: resistência do solo à penetração em MPa de 0-10, 10-20 e de 20-30 cm de profundidade segundo metodologia de Stolf (1991).

Para a estimativa de produção da cana-de-açúcar foi realizada a contagem do número de colmos ($colmos\ m^{-2}$) em abril de 2012.

Após a colheita e início de desenvolvimento da cana soca em novembro de 2012, foi medido o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em campo nos 90 pontos de amostragem por meio do sensor Crop Circle ACS-430. O NDVI é calculado pela diferença entre a reflectância

do infravermelho próximo e a reflectância do vermelho dividida, respectivamente, pela soma das duas reflectâncias. A condutividade elétrica (CE) do solo também foi medida neste período e o equipamento utilizado foi o sensor por contato direto Veris (acoplado no veículo tratorizado equipado com GPS e receptor de dados), composto de quatro sensores e dois eletrodos. Os sensores percorreram superficialmente o solo e transmitiram valores de CE ($mS\ m^{-1}$) de 0-30 e de 0-90 cm de profundidade. Na Figura 2 são visualizados os sensores utilizados.

Inicialmente os dados foram analisados pela estatística descritiva obtendo-se a média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo, assimetria e curtose. Para verificar a variabilidade espacial e identificação das zonas homogêneas os dados foram analisados pela geoestatística através da construção e ajuste de semivariogramas, krigagem para interpolação de dados e construção de mapas de isolinhas, descritos em Vieira (2000). Os programas utilizados para as análises foram desenvolvidos segundo Vieira et al. (2002).

Também foi realizada a tomada de imagem aérea por veículo aéreo não tripulado (VANT). Para a coleta de imagem no visível foi utilizada uma câmera RGB modelo GoPro Hero 2, obtendo imagens a 250m acima do nível do solo a cada 2 segundos, com qualidade de 8mp e seu relógio

Foto: C. R. Grego



Figura 2. Sensores de medição: a) condutividade elétrica do solo - Veris; b) índice de vegetação - Crop Circle

interno sincronizado com o horário global do sistema de GPS. A rota de vôo foi projetada com linhas paralelas a cada 70m, possibilitando a cobertura de *overlap* e *sidelap* necessários. Após o término do vôo as imagens obtidas foram combinadas com os dados de posicionamento da aeronave, sendo todas georreferenciadas, ortorretificadas e mosaicadas em uma única imagem para a área total da Unidade Piloto.

3. Resultados e discussão

Com a finalidade de exploração inicial dos dados, os mesmos foram submetidos à estatística descritiva (Tabela 1). Após identificação e limpeza dos valores discrepantes por erros de medição, principalmente pelos sensores, os valores médios indicam que o solo possui textura predominante argilosa e a densidade do solo, a resistência à penetração e a condutividade elétrica são maiores em profundidade do que na superfície. A cana-de-açúcar, próxima a colheita no ano de 2012, desenvolveu em média 2,08 colmos por m².

Os coeficientes de assimetria e curtose expressam a normalidade de frequência dos dados e os valores próximos de zero indicam distribuição de frequência normal (WEBSTER; OLIVER, 2007). Os dados apresentaram, em sua maioria, normalidade de distribuição de frequência e coeficiente de variação baixos, com exceção da condutividade elétrica do solo, que apresentou valores de assimetria e curtose distantes de 0 e coeficientes de variação maiores do que 100% (Tabela 1). Um fato que pode explicar esta anormalidade e alta variação foi que no momento da medição, a superfície estava coberta com grande quantidade de palha resultante da colheita mecanizada anterior o que dificultou grandemente o contato dos discos do sensor no solo.

Os dados foram submetidos a análise de variabilidade espacial, utilizando análise geoestatística, no intuito de contribuir para a identificação, nos locais não amostrados, das zonas homogêneas que podem auxiliar no manejo localizado da área. A aplicação da análise geoestatística é de grande utilidade neste processo, pois, segundo Vieira, Xavier e Grego (2008) utiliza o interpolador krigagem que considera a

Tabela 1. Estatística descritiva para as variáveis de solo e planta da cana-de-açúcar: areia, silte e argila (g g⁻¹) a 15 cm; densidade do solo (g cm⁻³) a 15 cm e a 30 cm; resistência do solo à penetração (RP) em MPa de 0-10, 10-20 e de 20-30 cm; número de colmos de cana (colmos m⁻²); índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI); condutividade elétrica (CE) do solo (mS m⁻¹) de 0-30 e de 0-90 cm de profundidade.

Variável	Pontos	Média	Variância	Desvio padrão	Coefficiente de Variação	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
Argila	80	49,47	16,460	4,06	8,20	35,90	60,80	-0,567	2,448
Silte	80	13,83	7,321	2,71	19,57	9,30	25,10	1,882	5,601
Areia	80	36,70	7,200	2,68	7,31	28,80	47,40	0,584	3,326
densidade (15 cm)	80	1,24	0,003	0,06	4,79	1,11	1,38	-0,126	-0,558
densidade (30 cm)	80	1,30	0,003	0,05	3,90	1,19	1,44	-0,222	-0,184
RP 0-10cm	80	0,84	0,026	0,16	19,35	0,56	1,31	0,463	-0,213
RP 10-20cm	80	1,64	0,305	0,55	33,72	0,65	3,14	0,782	0,203
RP 20-30cm	80	2,65	0,364	0,60	22,78	1,40	4,56	0,650	0,385
Nº. Colmos m ⁻²	90	2,08	0,024	0,15	7,40	1,61	2,39	-0,476	0,304
NDVI	74	0,40	0,009	0,09	23,56	0,21	0,65	0,423	0,221
CE 30cm	1192	12,97	276,900	16,64	128,30	0,20	183,90	4,500	27,270
CE 90cm	1184	13,77	619,900	24,90	180,80	0,20	222,60	4,686	27,120

dependência espacial. Outros interpoladores não consideram a estrutura da variação espacial dos valores medidos e revelados pelo semivariograma, além de não determinar com exatidão a variação dos dados interpolados.

Os semivariogramas foram construídos e ajustados de acordo com o modelo esférico que melhor representou a dependência espacial para todos os atributos que apresentaram a dependência espacial. De acordo com Vieira (2000) os ajustes que melhor representam a variabilidade espacial para as variáveis de interesse agrônomo são na maioria esféricos. Apenas a condutividade elétrica do solo medida com o sensor Veris a 30 cm de profundidade não apresentou dependência espacial, o que era de se esperar devido aos problemas de contato com o sensor no solo no momento da medição (devido a grande quantidade de palha na superfície).

De acordo com a figura 3 pode-se observar que o alcance de dependência espacial variou de 100 a 350 metros, ou seja, os dados são dependentes entre estes alcances de distâncias. O grau de dependência (GD %), segundo a classificação de Zimback (2001), na maioria, variou de moderado a forte e somente a condutividade elétrica (a 90 cm) apresentou dependência espacial fraca (<25%), provavelmente devido a alta variação nos dados obtidos. Após identificada a dependência espacial, os dados foram interpolados por krigagem ordinária, sem tendência e com variância mínima, para os locais não amostrados, utilizando os parâmetros de ajuste de dependência espacial (Co, C1 e alcance) como mostra a Figura 3. Após a interpolação foram construídos mapas de isolinhas para representar espacialmente os dados e permitir a identificação de zonas homogêneas.

A partir da análise dos mapas elaborados da Figura 3, foi possível estabelecer uma relação espacial entre os dados físicos do solo, textura, densidade do solo (15 cm) e resistência à penetração, pois a parte norte da área, comparada com a parte sul, possui maiores teores de argila (Figura 3 a), densidade (Figuras d, e) e resistência à penetração do solo (Figuras f, g, h). Com base nas análises dos mapas dos dados físicos do solo é possível visualizar a divisão em pelo menos duas áreas definidas como zonas homogêneas, uma na parte norte ao longo de toda a distância x da área e outra, na parte sul, separadas pela área

da pedreira. A pedreira é a área não mapeada a esquerda e trata-se de uma mancha “pedregosa”, que pode ser identificada também na imagem de satélite (Figura 1a) e na imagem aérea obtida pelo VANT (Figura 4). As imagens obtidas pelo VANT também são importantes para a identificação das áreas para manejos localizados, principalmente pela facilidade de obtenção, alta precisão, alta resolução espacial e temporal. Além disso, com a imagem da Figura 4 também é possível a implementação de índices espectrais, como o NDVI a partir da combinação dos dados RGB e fotos com aplicação de filtros na região do *Near Infra-Red* (NIR).

Para os dados que envolvem a planta, como o número de colmos e o NDVI (Figuras 3 i, j) também são identificadas relações espaciais e pelo menos duas regiões distintas, onde na parte norte a esquerda da área ocorreram menores números de colmos na cana próxima a colheita e também menor índice de vegetação (NDVI) no início do desenvolvimento da cana soca seguinte, comparando com o sul da área.

Com o mapa de condutividade elétrica do solo (Figura 3 k) não se pôde identificar relação espacial com os demais mapas devido a fraca dependência espacial encontrada. Apesar da medição da condutividade elétrica do solo ser uma das mais usadas para caracterizar as variabilidades em agricultura de precisão, por ser fácil e confiável (CORWIN; LESCH, 2003), considerando as condições de campo do presente trabalho, o equipamento utilizado não foi o mais adequado. A medição foi realizada com umidade adequada do solo, aproximadamente na capacidade de campo, porém, a palhada depositada no solo impediu o equipamento de realizar grande parte das medidas. O contato dos discos com o solo foi dificultado mesmo com o rebaixamento total do engate do equipamento no trator. Uma opção nessa condição seria a adaptação pela empresa fornecedora do equipamento Veris, em aumentar o peso do equipamento ou acoplar limpadores de trilho para passagem dos discos. Outra opção seria medir somente nos 90 pontos georreferenciados utilizando o sensor portátil (ROCHA et al., 2011) de medição de condutividade elétrica do solo.

A variabilidade espacial encontrada para os dados físicos do solo e da planta, por meio da análise geoestatística permitiu identificar pelo

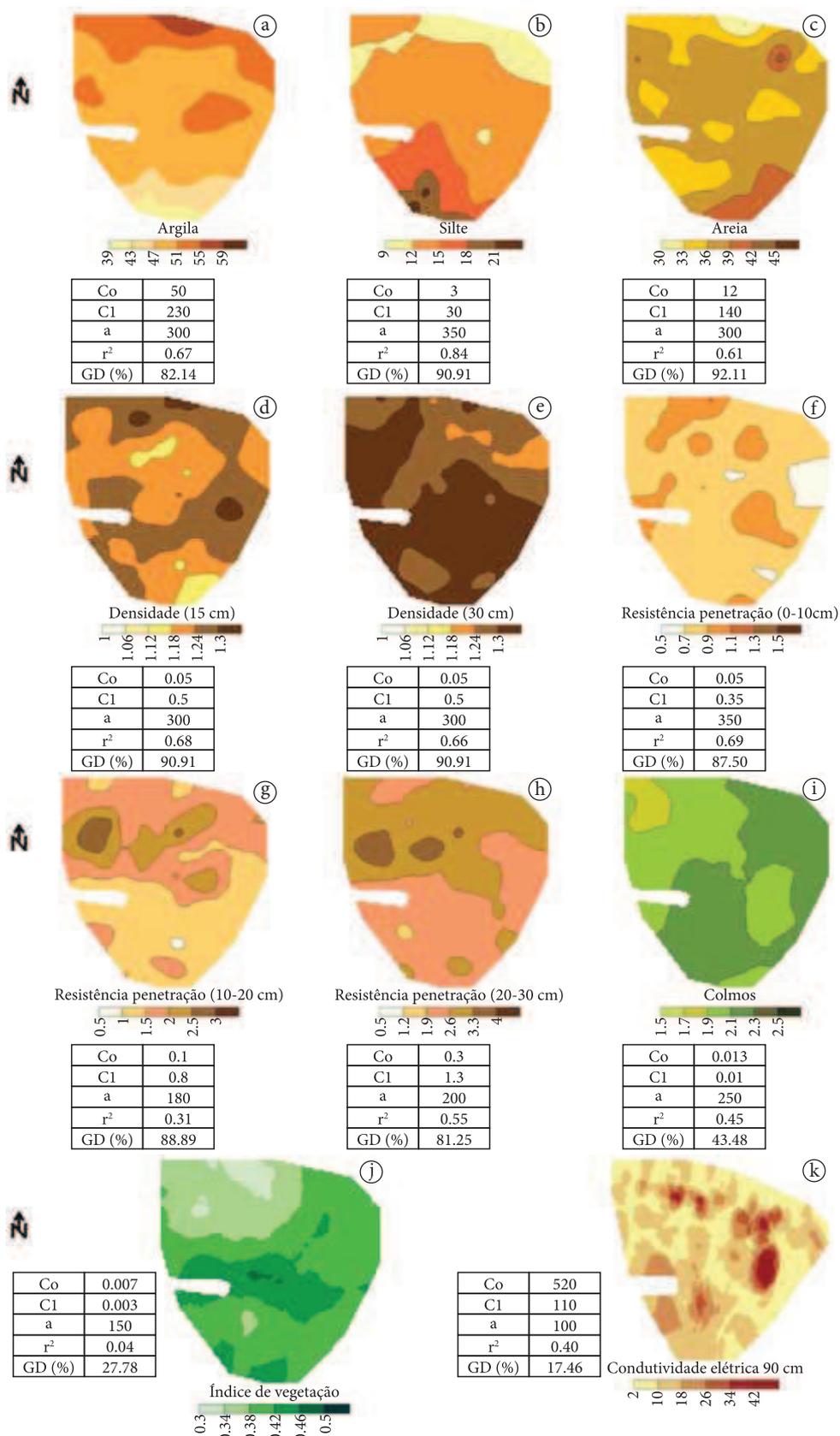


Figura 3. Mapas de isolinhas dos atributos interpolados por krigagem ordinária: a) areia (g g^{-1}) 15 cm; b) silte (g g^{-1}) 15 cm; c) argila (g g^{-1}) a 15 cm; d) densidade do solo (g cm^{-3}) a 15 cm; e) densidade do solo (g cm^{-3}) a 30 cm; f) resistência do solo à penetração em MPa de 0-10; g) resistência do solo à penetração em MPa 10-20 cm; h) resistência do solo à penetração em MPa 20-30 cm; i) número de colmos de cana (colmos m^{-2}); j) índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI); k) condutividade elétrica do solo (mS m^{-1}) a 90cm de profundidade.

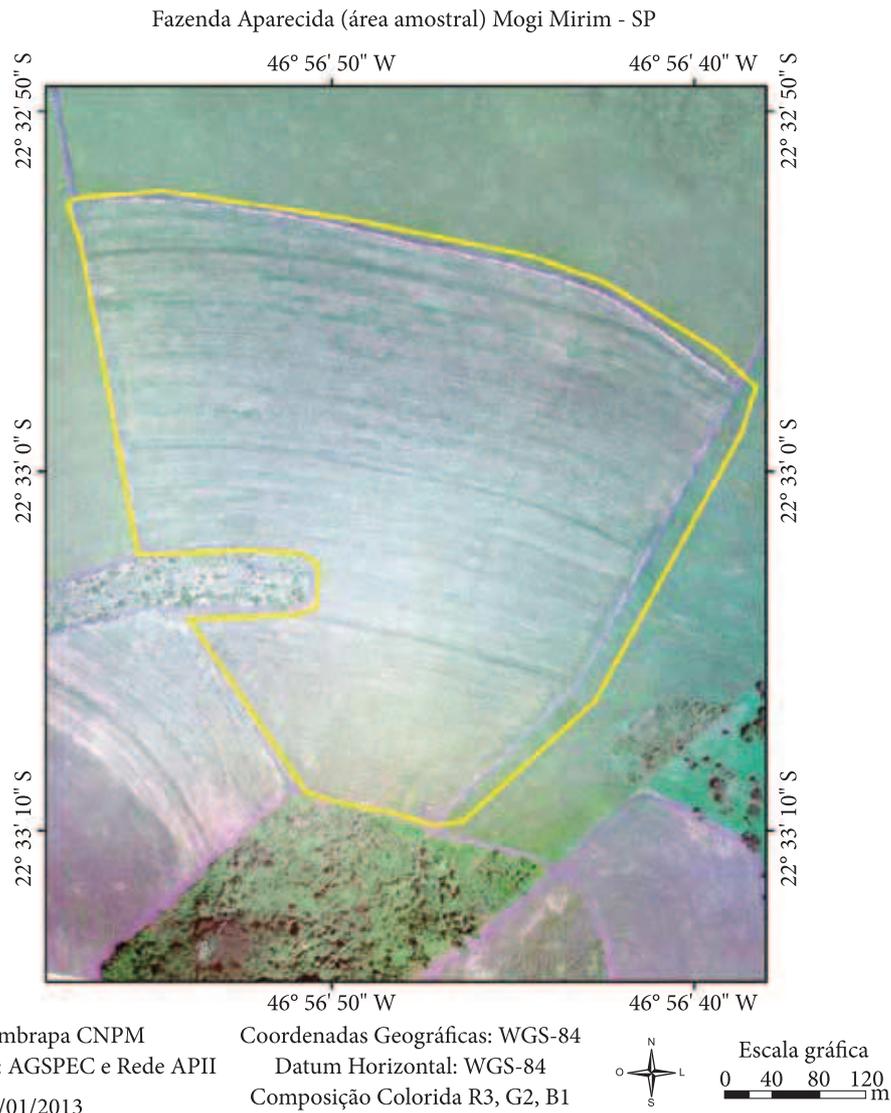


Figura 4. Imagem aérea mosaica, georreferenciada e ortorretificada da Unidade Piloto da cana-de-açúcar em Mogi Mirim, SP, obtida por veículo aéreo não tripulado (VANT) e câmera RGB.

menos duas zonas homogêneas para manejo localizado que podem subsidiar a tomada de decisão e gerenciamento do talhão de cana. Isto foi possível após a detecção da dependência espacial dos fatores envolvidos.

4. Conclusões

Houve dependência espacial para a maioria dos atributos do solo e da planta, com alcance de dependência espacial variando de 100 a 350 metros.

A interpolação dos dados físicos do solo por krigagem permitiu dividir a área em duas partes definidas como zonas homogêneas, uma ao norte da área e outra ao sul, separadas pela área da pedreira identificada na imagem de satélite e na imagem do veículo aéreo não tripulado. Também foram identificadas duas regiões distintas quanto ao número de colmos e ao índice de vegetação, onde na parte norte a esquerda da área ocorreram menores valores em relação a parte sul da área.

A condutividade elétrica apresentou dependência espacial de fraca a nula e, portanto não foi identificada relação espacial com os demais atributos do solo e da planta.

Os resultados da análise de variabilidade espacial para os dados físicos do solo e da planta permitiram identificar duas zonas homogêneas para manejo localizado, o que pode subsidiar a tomada de decisão e o gerenciamento na propriedade de cana. Isto foi possível após a detecção da dependência espacial dos fatores envolvidos e a geoestatística mostrou ser a ferramenta adequada para esta detecção.

Referências

- AMARAL, L. R.; PORTZ, G.; ROSA, H. J. A.; MOLIN, J. P. Estimativa de produtividade de cana-de-açúcar a partir de dados de sensor de refletância do dossel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 5., 2012, Ribeirão Preto. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2012.
- BOUYOUCOS, G. J. The hydrometer method improved for the mechanical analysis of soil. **Soil Science**, v. 23, p. 343-353, 1927. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-192705000-00002>
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, L. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1986. 93 p. (Boletim técnico, 106).
- CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 3, p. 455-471, 2003.
- FRASSON, F. R.; MOLIN, J. P.; POVH, F. P.; SALVI, J. V. Temporal behavior of NDVI measured with an active optical sensor for different varieties of sugarcane. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 1, p. 237-244, 2007.
- MOLIN, J. P.; DIAS, C. T. S.; CARBONERA, L. Estudos com penetrometria: novos equipamentos e amostragem correta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 584-590, 2012.
- MOLIN, J. P.; FAULIN, G. D. C. Spatial and temporal variability of soil electrical conductivity related to soil moisture. **Scientia Agrícola**, v. 70, p. 1-5, 2013.
- ROCHA, M. G.; NASCIMENTO, P. S.; COSTA, B. R. S.; SILVA, J. A.; BASSOI, L. H.; RABELLO, L. M. Mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo com sensor portátil em um Argissolo no Semiárido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2011, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: SBCS, 2011.
- SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Máquinas agrícolas: tecnologias de precisão**. Brasília: SENAR, 2012. 76 p. (Coleção SENAR).
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J. ; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 40, p. 48-56, 2010.
- 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**, v. 15, n. 2, p. 229-35, 1991.
- UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Linha do Tempo**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/linhadotempo/index.html#>>. Acesso em: jun. 2013.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Ed.). **Tópicos em Ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54. v. 1.
- VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. E.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). **Tópicos em Ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2002. p. 1-45. v. 2.
- VIEIRA, S. R.; XAVIER, M. A.; GREGO, C. R. Aplicações de geoestatística em pesquisas com cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana de açúcar**. Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo, 2008. p. 839-852.
- WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Geostatistics for Environmental Scientists**. 2nd ed. John Wiley and Sons, 2007. 315 p. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470517277>
- ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência)-Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2001.