

Variabilidade do solo como indicador da oportunidade da agricultura de precisão em sistema de plantio direto**

Ronaldo P. de Oliveira^{1*}, Vinicius de M. Benites^{2*}

¹ Engenheiro Eletrônico, Dr. Agricultura de Precisão, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

² Engenheiro Agrônomo, Dr. em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

*e-mail: ronaldo@cnpq.embrapa.br; vincius@cnpq.embrapa.br

**Fazenda Cruzeiro, Castelândia, GO, Unidade Piloto da Rede Brasileira de Agricultura de Precisão

Resumo: A caracterização da variabilidade espacial do solo é ferramenta de suporte aos processos decisórios em agricultura de precisão, principalmente nas fases iniciais de adoção. Entretanto questões pendentes envolvem acurácia na interpolação e complexidade na interpretação dos atributos mapeados, a eficiência e o custo da amostragem intensiva e a indisponibilidade de ferramentas de apoio aos processos de implementação do manejo de culturas por sítio-específico. Este trabalho utiliza dados de etapas preliminares de adoção em um talhão sob sistema de plantio direto. O objetivo é caracterizar a variabilidade espacial do solo por técnicas quantitativas, avaliando o potencial das informações no apoio as decisões de um sistema produtivo privado. Os resultados geoestatísticos demonstram forte estrutura espacial da variabilidade dos atributos de solo, favorecendo a adoção do manejo diferenciado na escala do talhão. A tecnologia de monitoramento da condutividade elétrica do solo mostrou ser útil na interpretação da variação espacial do talhão e no suporte a esquemas otimizados de amostragem do solo. Métodos de avaliação da oportunidade de adoção apresentaram índices de variabilidade espacial sugerindo a oportuna adoção do manejo por sítio-específico. Entretanto, dificuldades de sistematização e interpretação das informações geradas ratificam a carência de métodos e ferramentas de apoio ao manejo eficiente das culturas.

Palavras-chave: manejo de culturas por sítio-específico, geoestatística, variabilidade espacial, índice de oportunidade, condutividade elétrica aparente do solo.

Soil variability to assessing the opportunity for precision agriculture in no-till systems

Abstract: Characterization of soil spatial variability is a supporting tool to precision agriculture decision making, in particular at initial adoption phases. However, questions are still involving data accuracy and interpolation complexity of mapped attributes, intensive sampling efficiency and cost, and lack of supporting tools to implementation of site-specific crop management. This work uses data from preliminary adoption stages in a paddock under no-till production system. The objective is to quantify soil related spatial variability assessing the potential of available information to support private production system decision making. Geostatistical analyses have shown strong structure for soil spatial variations, justifying the site-specific adoption. Intensive monitoring of apparent soil electrical conductivity has proved to be useful in understanding within-field variation and supporting soil sampling designs. Methods to evaluate the adoption opportunity have shown variability indices that suggest the opportunity of site-specific crop management. However, difficulties in systematizing and interpreting available information reinforce the lack of useful methods and tools to support an efficient crop management.

Keywords: site-specific crop management, geostatistics, spatial variability, opportunity index, apparent soil electrical conductivity.

1. Introdução

Considerando a caracterização quantitativa da variabilidade do solo como ferramenta de suporte ao processo de adoção da Agricultura de Precisão (AP), este trabalho apresenta resultados das etapas preliminares no uso das tecnologias de AP em um talhão de 35 ha em sistema de rotação de culturas sob plantio direto na região do Cerrado. O objetivo é caracterizar a variabilidade espacial do solo usando técnicas quantitativas para avaliar o potencial de uso das informações geradas como ferramentas de apoio a decisão.

Os resultados geoestatísticos demonstram uma forte estrutura na variabilidade espacial dos atributos de solo, favorecendo a adoção do Manejo de Culturas por Sítio-Específico (MCSE). Os parâmetros obtidos se correlacionaram a valores típicos da literatura e atenderam a dois dos três métodos utilizados na avaliação da oportunidade do manejo diferenciado na escala do talhão. A tecnologia de monitoramento intensivo da Condutividade Elétrica aparente do Solo (CE_a) mostrou ser útil nas interpretações e de uso potencial na elaboração ou refinamento do esquema de amostragem do solo. Para três modelos de adoção do MCSE utilizados, dois indicaram uma estrutura de variação dos atributos de solo que é oportuna para a adoção da AP. O índice de variabilidade espacial da CE_a sugere a oportunidade de adoção. Entretanto, dificuldades na sistematização e interpretação das informações ratificam a falta de métodos e ferramentas efetivas no apoio ao manejo eficiente, sendo eficaz e diferenciado no espaço.

2. Material e métodos

O talhão em estudo (35 ha) está localizado no município de Castelândia, sudoeste goiano, numa área comercial de produção de grãos em sistema de plantio direto com a rotação das culturas de soja, milho e sorgo em região de Cerrado. O solo predominante é um Latossolo Vermelho distroférrico desenvolvido sobre material basáltico da formação Serra Geral, com altitude média de

455 m. As etapas de adoção da AP na Fazenda Cruzeiro envolvem duas tecnologias voltadas ao apoio dos processos gerenciais do MCSE. Estas tecnologias geram dados em diferentes densidades amostrais, sendo: a) a amostragem de solos por grade regular em malha de uma amostra por hectare, com 35 observações (Figura 1a); e b) o monitoramento intensivo das medidas de CE_a , com 7.480 observações (Figura 1b). Amostras por grade foram coletas durante o inverno de 2009 e 2010, após a colheita da safrinha, na profundidade de 0 a 20 cm, com uso de um amostrador de rosca motorizado de uma polegada; sendo cada amostra formada por 10 subamostras tomadas em um raio de 20 m a partir dos pontos da malha georeferenciada. As determinações analíticas foram realizadas nos laboratórios de solo da Universidade de Rio Verde. O monitoramento georreferenciado das medidas de CE_a foi realizado em 2010 utilizando a tecnologia Veris 3100 em rastreamento contínuo. Transformações de coordenadas e das funções de distribuição estatística foram realizadas para garantir o posicionamento e a normalidade da distribuição dos dados antes da variografia. O pacote geoestatístico Vesper (WHELAN et al., 2001) foi utilizado nos variogramas e krigagem dos mapas de atributos relevantes a análise da oportunidade. A krigagem por blocos de 10 m e raio de busca proporcional ao maior intervalo entre os pares de observações (lag) gerou uma grade regular do valor estimado e do erro associado em intervalos de 5 m.

Para determinação da oportunidade de adoção, os resultados foram confrontados com condições de contorno sugeridas nos fluxos decisórios do MCSE. Uma vez ajustadas, as informações geradas foram utilizadas em três modelos de análise da oportunidade de adoção; a citar: Cambardella et al. (1994); McBratney e Pringle (1999) e Oliveira et al. (2007).

3. Resultados e discussão

Os resultados das análises geoestatísticas de atributos de solos, diretamente relacionados

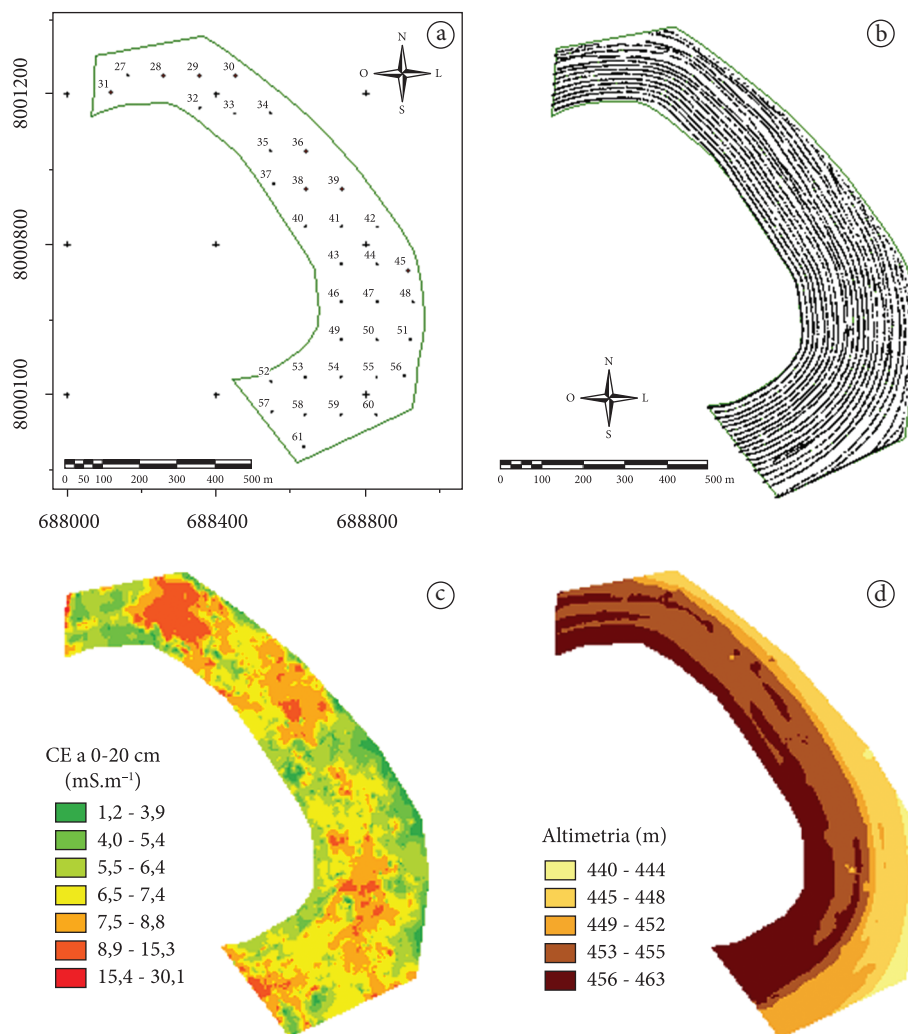


Figura 1. Figura ilustrando as densidades amostrais das a diferentes tecnologias de MCSE: a) grade regular e b) monitoramento da CE_a; e os mapas c) da CE_a e d) de altimetria.

com os modelos utilizados ou indiretamente relacionados com medidas de CE_a (Tabela 1), mostram parâmetros dentro de seus intervalos típicos, apesar de uma variografia sugerindo a não-estacionariedade na variação dos teores de argila, potássio, fósforo e matéria orgânica. Neste sentido, a inexistência do efeito pepita e o difícil ajuste visual destes atributos foram observados. Outro aspecto pouco comum foi o melhor ajuste do modelo esférico na maioria dos atributos, em contraste ao usual ajuste exponencial citado na literatura (CAMBARDELLA et al., 1994; McBRATNEY; PRINGLE, 1999). A interpolação por krigagem foi facilitada pela interface semi-automática do aplicativo Vesper, capaz de exportar

arquivos ArcInfo ASCII Raster para fins de análise espacial em ambiente SIG. Mapas de CE_a e altimetria, interpolados a partir do monitoramento intensivo com a tecnologia Veris, estão ilustrados, respectivamente, nas Figuras 1c e 1d. Mapas de atributos interpolados a partir da grade regular são apresentados nas Figuras 2 e 3, ilustrando, respectivamente, a boa estrutura espacial da variabilidade dos atributos correlacionados com medidas de CE_a e a variabilidade espaço-temporal de atributos da fertilidade do solo considerados potenciais indicadores da oportunidade para o MCSE.

Parâmetros da variografia responderam as condições de análise dos métodos de quantificação

Tabela 1. Parâmetros de ajuste do semivariograma para atributos de solo coletados em grade amostral de um ponto por hectare e condutividade elétrica aparente do solo (CE_a) obtida por monitoramento intensivo por contato em sistema de plantio direto.

Atributo do solo	Ano	Modelo de ajuste	C0*	C1**	a1***	Distância de correlação (m)
Argila	2009	Esférico	0,0	24,38	119,8	118
Areia	2009	Duplo exponencial	0,0001	15,25	51,0	150
pH	2010	Esférico	0,021	0,01	536,4	530
Potássio	2009	Esférico	0,0	5625,6	286,7	280
	2010	Duplo esférico	0,0	8174,9	352,8	350
Fósforo	2009	Esférico	0,274	7,095	183,5	180
	2010	Esférico	11,46	63,67	180,8	180
Ca	2009	Esférico	0,301	0,419	294,0	235
	2010	Esférico	0,173	0,554	339,0	335
Mg	2009	Esférico	0,007	0,012	297,0	295
	2010	Esférico	0,0006	0,076	212,3	200
M.O.	2009	Esférico	4,522	34,2	199,4	195
CE_a	2010	Exponencial	4,948	1,832	62,5	187

*C0 = efeito pepita; **C1 = variância estrutural; ***a1 = alcance.

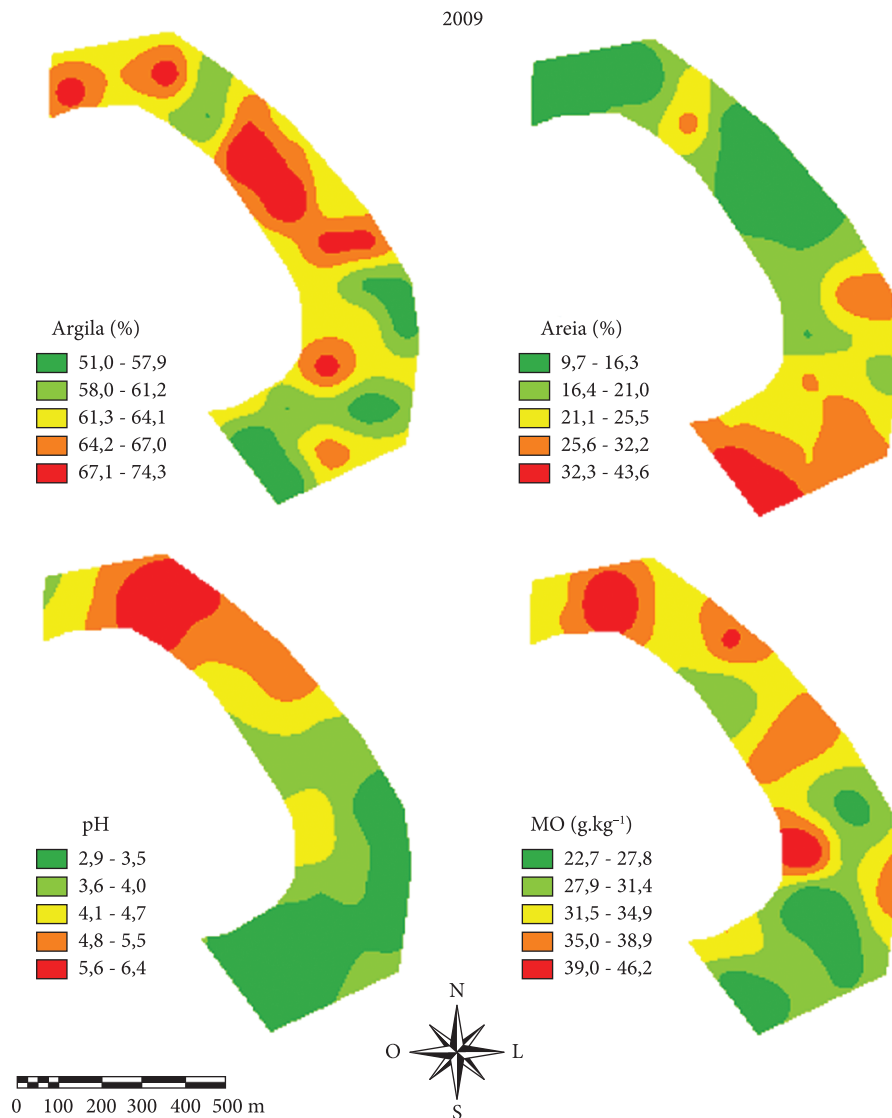


Figura 2. Mapas interpolados por krigagem, a partir da grade regular, indicando boa estruturada da variabilidade espacial de atributos correlacionados com a CE_a .

Tabela 2. Avaliação dos parâmetros da variografia para atributos de solo utilizados no desenvolvimento de métodos de quantificação da variabilidade espacial utilizados como métricas da oportunidade de adoção do manejo por sítio-específico.

Atributo do solo	Ano	Parâmetros médios e proporcionais ¹			Índice de Cambardella ²		S_r ³	
		Maior C1 ^{**}	Menor C0* ou Maior a1 ^{***}	Oportuno MCSE?	C0/C0 + C1 (%)	Dependência espacial	$S_r = \sqrt{M_V \cdot S_V}$	Oportuno MCSE?
Argila	2009	Sim	Sim	Sim	0	Forte	-	-
Areia	2009	Não	Sim	Não	0	Forte	-	-
pH	2010	Não	Sim	Não	66	Média	-	-
Potássio	2009	Sim	Sim	Sim	0	Forte	-	-
	2010	Sim	Sim	Sim	0	Forte	-	-
Fósforo	2009	Sim	Sim	Sim	4	Forte	-	-
	2010	Sim	Sim	Sim	15	Forte	-	-
Ca	2009	-	-	-	42	Média	-	-
	2010	-	-	-	24	Forte	-	-
Mg	2009	-	-	-	38	Média	-	-
	2010	-	-	-	1	Forte	-	-
M.O.	2009	-	-	-	12	Forte	-	-
CE _a	2010	-	-	-	71	Média	5,8	Sim

*C0 = efeito pepita; **C1 = variância estrutural; ***a1 = alcance. ¹(McBRATNEY; PRINGLE, 1999); ²(CAMPARDELLA et al., 1994); ³(OLIVEIRA et al., 2007). (-) Indica que a análise não se aplica ao atributo; seja pela inexistência de variogramas médios ou proporcionais de referência, ou pelo limitado número de amostras que impossibilita o uso do S_r .

da variabilidade e dos modelos decisórios considerados (Tabela 2), sugerindo uma estrutura espacial favorável ao manejo diferenciado devido ao tamanho e a distribuição de áreas homogêneas no talhão; potenciais zonas de manejo. Índices positivos foram obtidos para os modelos propostos em Cambardella et al. (1994) e Oliveira et al. (2007), sugerindo a oportunidade de adoção. Entretanto, modelo em McBratney e Pringle (1999) mostrou-se menos conclusivo, pois os parâmetros de areia, pH e potássio ficaram próximos aos limiares sugeridos, não ficando clara a rigidez para limiares obtidos fora do contexto do plantio direto no Cerrado. Somente os parâmetros de argila e fósforo ficaram bem definidos para as duas condições de contorno consideradas. Dados de CE_a mostraram-se complementares na quantificação da variabilidade por considerar métricas da magnitude e da estrutura espacial da

variação, além da potencial aplicação no desenho amostral para a coleta de solo.

4. Conclusões

As dificuldades na variografia dos atributos coletados por grade regular pode ser relacionada ao limitado número de amostras, com distribuição regular que pouco corresponde as variações do solo e influencia diretamente os valores interpolados. Neste sentido, as informações de CE_a foram decisivas nas interpretações, indicando a relevância do cálculo de S_r nos processos decisórios de adoção da AP.

A complexidade da análise da oportunidade de adoção ratifica a necessidade do desenvolvimento de métodos eficientes no apoio a decisão nos processos de MCSE.

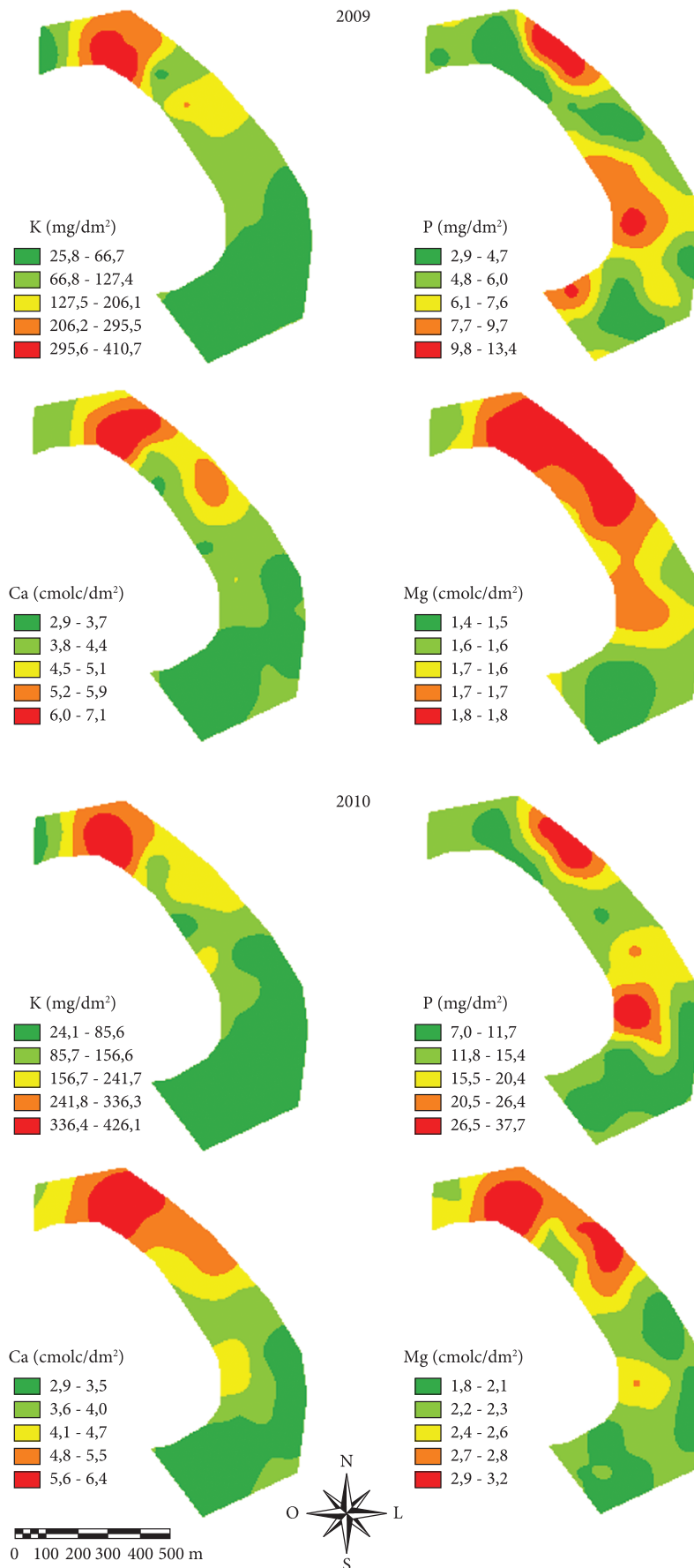


Figura 3. Mapas interpolados por krigagem, a partir da grade regular, ilustrando a variabilidade espaço-temporal de atributos indicadores da oportunidade para o MCSE.

Referências

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>

OLIVEIRA, R. P.; WHELAN, B. M.; MCBRATNEY, A.; TAYLOR, J. Yield variability as an index supporting management decisions: YIELDex. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE - ECPA, 6., 2007, Skiathos. **Proceedings...** Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2007. p. 281-288.

MCBRATNEY, A. B.; PRINGLE, M. J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. **Precision Agriculture**, v. 1, p. 219-236, 1999. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009995404447>

WHELAN, B. M.; MCBRATNEY, A. B.; MINASNY, B. Vesper - Spatial Prediction Software for Precision Agriculture. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE - ECPA, 3., 2001, Montpellier, France. **Proceedings...** Montpellier, 2001. p. 139-144.