

## Zonas de Manejo: teoria e prática

Ariovaldo Luchiari Junior<sup>1\*</sup>, Emerson Borghi<sup>2</sup>, Junior Cesar Avanzi<sup>1</sup>, Alexandre Ayres de Freitas<sup>3</sup>, Leandro Bortolon<sup>1</sup>, Elisandra Solange Oliveira Bortolon<sup>4</sup>, Ricardo Y. Inamasu<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO, Brasil

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agricultura, Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO, Brasil

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestre em Irrigação, Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO, Brasil

<sup>4</sup> Engenheira Agrônoma, Doutora em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

<sup>5</sup> Engenheiro Mecânico, Doutor em Engenharia Mecânica, Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP, Brasil

\*e-mail: ariovaldo.luchiari@embrapa.br

**Resumo:** Os recentes desenvolvimentos e adoção dos conceitos para práticas de zonas de manejo em sítios específicos ou agricultura de precisão têm implicado em mudanças estruturais nos processos de geração e de tomada de decisão, quanto ao uso das tecnologias agrícolas, geoespaciais e das informações para fins agrícolas. Esse avanço ou inovação tecnológica pode ter incluído em sua concepção o uso mais racional de insumos, a possibilidade de preservar e rastrear a qualidade dos produtos agrícolas mostrando possibilidades reais de ganhos econômicos e benefícios ambientais. O objetivo deste trabalho foi abordar aspectos teóricos sobre o uso de zonas de manejo na agricultura de precisão como forma de aumentar a eficiência de recursos naturais e orientar o desenvolvimento de práticas de manejo mitigadoras de possíveis riscos ambientais. Uma abordagem prática também foi feita, demonstrando a aplicação do conceito de zonas de manejo em área de produção de milho na região do *Corn Belt*.

**Palavras-chave:** eficiência de uso de recursos naturais, manejo de nutrientes, potencial de produtividade, risco ambiental, sítio específico.

### *Management zone: theory and applied knowledge*

**Abstract:** recent developments and concepts adoptions of site-specific management zones or precision agriculture have been implied in structural challenges into generation processes of the decision support due geospatial agricultural information technologies. This advance or technology innovation might be include in its conception the rational use of natural resources, the possibility to preserve agricultural products quality showing real possibilities to achieve economic and environmental benefits. The aim of this presentation was to review some aspects regarding to site specific management zone in precision agriculture to improve natural resources efficiency use and to development of management practices to mitigate environmental risks from agriculture. A practical review was also reported showing the application of site specific management zone concept in a corn production system in *Corn Belt* region.

**Keywords:** natural resources efficiency use, nutrient management, potential yield, environmental risks, site specific management.

## 1. Aspectos teóricos relativos a zonas de manejo

A prática da agricultura de precisão foi primeiramente iniciada com o propósito de manejo de nutrientes, fundamentado unicamente num esquema de amostragem de solo em malha. Como este era um procedimento que teve muitos resultados de sucesso quando usado em parcelas experimentais, avaliou-se que o mesmo seria muito promissor também quando utilizado em grandes áreas. Acreditava-se que este procedimento seria capaz de identificar todas as causas das variabilidades dos rendimentos de um campo cultivado. Uma malha de 1 ha por amostra foi definido para a maioria das aplicações e a partir dessas amostragens os mapas de fertilidade e de recomendações eram construídos. Entretanto a maioria dos agricultores ficou desapontada, porque a variabilidade nos rendimentos de seus campos de produção não desapareceu (SCHEPERS et al., 2000a). Estudos geoestatísticos a esse respeito mostraram que os mapas resultantes apresentavam distorções mais devidas ao local de coleta da amostra (centro ou intersecção da malha) e ao tamanho da malha de amostragem (SCHEPERS et al., 2000b) do que devido ao método de interpolação empregado, kriging ou potência do inverso da distância (VARVEL et al., 1999).

Adicionalmente, outro problema que emergiu foi referente aos custos envolvidos nos esquemas das amostragens e das análises de solo e que começou a ser questionado pelos agricultores, quanto à sua viabilidade prática e econômica. Destes questionamentos novas direções começaram a ser buscadas. Varvel et al. (1999) mostraram que a imagem aérea de um solo descoberto apresentava um mesmo padrão de distribuição de matéria orgânica e de nutrientes do que os mapas resultantes de um esquema intensivo de amostragem em malha fina. A partir deste estudo um grande número de produtores e provedores de serviço começaram a considerar o uso de imagem aérea para orientar os locais de amostragens e diminuir custos de coletas e

análises (SCHEPERS et al., 1999; WAGNER, 1999). Novas abordagens, como zonas homogêneas de manejo (DOERGE, 1999; FLEMING; WESTFALL; WIENS, 1999) mostraram-se promissoras para indicar os locais nos quais as amostragens deveriam ser feitas. Luchiari Junior et al. (2000), conceituam zonas de manejo como sendo áreas do terreno de iguais produção potencial, eficiência do uso de insumos e risco de impacto ambiental. Estes últimos autores utilizaram mapas de colheita, mapas de condutividade elétrica do solo, mapas de classificação de solos, imagens do solo e de plantas para delinear zonas homogêneas de manejo e para direcionar as amostragens de solo. Shanahan et al. (2000) usaram procedimento similar para analisar o efeito de diferentes densidades de plantio em função das características do terreno e seus efeitos nos rendimentos do milho. Luchiari Junior et al. (2002) aplicaram o conceito de zonas homogêneas de manejo em solos tropicais de cerrados, cultivados com culturas anuais em plantio direto.

O uso de nutrientes dentro do conceito de zonas de manejo deve focar vários aspectos. A demanda por nutrientes pelas culturas depende de vários fatores, dentre eles, da cultura e suas variedades, o potencial de rendimento e qualidade dos grãos, da distribuição de chuvas e do potencial produtivo do solo. Os principais atributos do solo que determinam seu potencial produtivo são aqueles responsáveis por manter a água no solo e fornecer nutrientes. Dentre eles estão, a textura, estrutura, agregação e sua estabilidade, relação macro e microporosidade, grau de compactação do solo e densidade. Os atributos físicos do solo muitas vezes são utilizados de forma reduzida na definição de zonas de manejo. Alguns atributos, como a densidade do solo poderia ser incorporada no plano de manejo, pois impedimentos físicos para o crescimento radicular, mesmo em áreas onde a fertilidade química é alta, fazem com que o potencial produtivo do solo seja reduzido, bem com o potencial da cultura.

## 2. Aspectos práticos relativos às zonas de manejo

### 2.1. Aplicação do conceito de zonas de manejo – estudo de caso na região do “Corn Belt”

Luchiari Junior et al. (2000) e Shanahan et al. (2000) utilizaram mapas de colheita, mapas de condutividade elétrica do solo, mapas de classificação de solos, imagens do solo e de plantas para delinear zonas homogêneas de manejo e para direcionar as amostragens de solo em duas situações: em Nebraska, para o manejo de N e do Colorado, para analisar o efeito de diferentes densidades de plantio em função das características do terreno e seus efeitos nos rendimentos do milho. Aqui serão apresentados os procedimentos utilizados em Nebraska.

Uma foto aérea da área de estudo foi tirada na primavera de 1999, quando o solo estava descoberto. Uma câmera fotográfica equipada com um filme colorido de 35 mm (Kodak Ektachrome) foi montada numa aeronave e quando esta atingiu a altitude aproximada de 2.130 m a foto foi tirada. Antes da aquisição da imagem, cinco alvos (placas de madeira de 1,2 × 2,4 m pintadas de branco) foram colocados no centro e no experimento da área. As coordenadas geográficas destes alvos foram obtidas com um GPS diferencial e usadas para o georreferenciamento da imagem. Uma versão impressa da imagem georreferenciada foi mostrada ao produtor. A ele foi solicitado que desenhasse na imagem os contornos das áreas de baixa, média e alta produção do terreno. Este procedimento foi denominado como zonas de manejo estabelecidas pelo produtor. Em seguida, a foto foi escaneada, importada para um sistema de informação geográfica – SIG (ERDAS, Atlanta, GA), georreferenciada e processada em valores de reflectância para o azul, verde e vermelho. Os valores de reflectância foram processados e interpretados digitalmente para gerar três zonas de manejo, as quais foram denominadas zonas geradas pelo computador. Com base na interpretação destes dois procedimentos, foi estabelecido um esquema de amostragem georreferenciada para

caracterizar as propriedades químicas do solo em diferentes pontos das três zonas. Em cada ponto, uma amostra composta para a camada de 0-20 cm foi obtida. Estabeleceu-se um círculo de 20 m de diâmetro, dividido em 4 partes, nas quais foram coletadas cinco amostras na profundidade de 0-20 cm. Um total de 48 pontos foram amostrados e analisados quanto aos seguintes parâmetros: pH, matéria orgânica, nitrato e fósforo.

A condutividade elétrica do solo (0-90 cm) foi mapeada usando-se um sensor de indução magnética do solo (EM 38, Geonics Ltd, Ontário, Canadá), conectado a um DGPS, montado numa pequena carreta não metálica a 36 cm da superfície do solo, movendo-se a 6,0 km.h<sup>-1</sup> em faixas contínuas espaçadas em 20 m de intervalo. As medidas georreferenciadas de condutividade elétrica do solo e de elevação do terreno foram coletadas em intervalos de um segundo. Mapas de colheita ou produtividades foram obtidos em 1997, 1998, 1999 e 2001, com uma colhedora de 12 linhas (John Deere 9600), equipada com o monitor de colheita (Green Star). Dados da produtividade, umidade dos grãos e coordenadas geográficas foram registrados a cada segundo. Os dados de produtividade foram processados e mapeados com o programa Farm HMS (Red Hen System, Fort Collins, CO). Os mapas de condutividade elétrica, altitude do terreno, reflectância do solo e produtividade de grãos foram obtidos usando-se o método de interpolação do inverso do quadrado da distância com malhas de 15 m. Análise de correlação simples foi usada para determinar a associação da produtividade com vários atributos do terreno. O método de regressão múltipla usando-se o “*stepwise*” para seleção de variáveis foi usado para determinar a importância dos atributos do terreno nos índices de produtividade. A área estudada exibiu uma variabilidade considerável na cor do solo e na topografia (Figura 1a). As áreas mais escuras (menos reflectivas) são solos com maiores teores de matéria orgânica que estão localizados nas partes mais baixas do terreno, enquanto as áreas mais claras são solos com menores teores de matéria orgânica, dissecados pela erosão e localizados nas partes mais elevadas do terreno. Na Tabela 1 são mostrados

os valores dos principais indicadores de solo associados à produtividade potencial. É possível ver claramente que a amostragem direcionada possibilitou caracterizar distintamente as zonas de manejo. Solos mais escuros, localizados na parte mais baixa do terreno, apresentaram um maior grau de fertilidade do que os solos mais claros localizados nas partes altas do terreno. Os altos teores de nitrato e de fósforo nas baixadas foram devidos ao acúmulo destes elementos provenientes das partes mais altas, transportados por processos de erosão e lixiviação. Os níveis de nitrato estavam acima dos requerimentos da cultura e já apresentavam risco de contaminação da água subterrânea. Ficou então evidenciada a necessidade de se intervir no manejo deste elemento.

O Mapa de condutividade elétrica do solo (CE) (Figura 1b) revelou padrões similares aos mapas de reflectância e de zonas de manejo (Figura 1a,c). Valores menores de CE foram encontrados nos solos escuros das baixadas, enquanto que valores maiores foram encontrados nas partes mais elevadas do terreno, onde os processos erosivos têm sido mais severos. Como o subsolo das áreas erodidas continha calcário, houve uma influência direta nos valores de CE e pH, resultando nos altos valores mostrados na Tabela 1. Na Tabela 2 são mostrados os efeitos do tempo das propriedades do solo na produtividade do milho. A análise de regressão múltipla mostrou que, em média, os atributos altitude, cor do solo, inclinação e CE explicaram aproximadamente 60% da variabilidade

Tabela 1. Propriedades químicas\* dos solos das três zonas de manejo.

Zona	N	CE <sub>1:1</sub> (ds m <sup>-1</sup> )	pH	MO (%)	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	P
					----- kg ha <sup>-1</sup> -----		
Azul	18	0,42	7,37	0,94	7,7	6,0	13,2
Púrpura	19	0,28	6,48	1,31	10,2	8,3	27,5
Cyan	10	0,24	6,17	1,68	17,0	2,9	68,9

\*CE: Condutividade elétrica do extrato solo/água (relação 1:1); MO: matéria orgânica.

Tabela 2. Associação entre a variação espacial das propriedades do terreno e variação na produtividade de grão determinada pela análise de regressão.

Variável	Anos					Média
	1997	1998	1999	2000	2001	
Cor do Solo	<0,0001	<0,0001	0,0975	0,0995	<0,0001	<0,0001
Altitude	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
CE	0,0057	<0,0001	<0,0001	0,0003	<0,0001	0,0120
Inclinação	0,2162	<0,0001	0,0255	0,0019	<0,0001	0,1960
Múltiplo R <sup>2</sup>	0,7110	0,4600	0,0940	0,0911	0,4117	0,6010

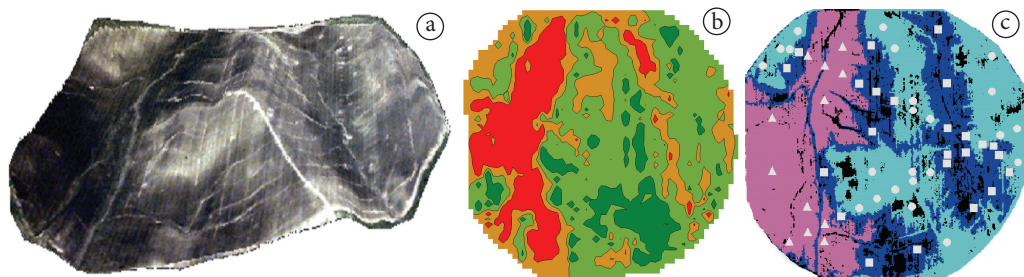


Figura 1. Foto aérea de solo descoberto (a); mapa de condutividade elétrica do solo (b) e; mapa de zonas homogêneas de manejo (c).

da produtividade da cultura. Além disso, os efeitos desses atributos foram variáveis ao longo do tempo. Analisando a estabilidade temporal das produtividades relativas de cada zona de manejo ficou evidenciado que em 80% os padrões eram consistentes, ou seja, zonas de alta produtividade apresentavam baixa produtividade um ano em cada cinco. Tais fatos evidenciaram a importância de se considerar a variabilidade temporal e não somente a variabilidade espacial quando se deseja tomar decisões de manejo.

### 3. Considerações finais

O uso da zona de manejo é uma estratégia válida para aumentar a eficiência do uso dos recursos naturais e reduzir o impacto da agricultura no ambiente. A aplicação das zonas de manejo deve ser evoluída considerando aspectos físicos do solo que limitam a produtividade potencial dos solos, como a densidade e compactação, os quais são fatores limitantes ao crescimento radicular, limitam a disponibilidade de água e conseqüentemente a absorção e uso eficiente de nutrientes.

### Agradecimentos

Agradecemos à Rede AP pelo apoio e oportunidade de divulgação do trabalho a ser iniciado pelo Núcleo Temático de Sistemas Agrícolas da Embrapa Pesca e Aquicultura. Também aos Drs. James Schepers e John Shanahan.

### Referências

DOERGE, T. A. **Management Zones Concepts**. Norcross, 1999.

FLEMING, K. L.; WESTFALL, D. G.; WIENS, D. W. **Field test management zones for VRT**. Norcross, 1999.

LUCHIARI JUNIOR, A.; SHANAHAN, J.; LIEBIG, M.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D.; PAYTON, S. Strategies for Establishing Management Zones for Site Specific Nutrient Management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: University of Minnesota, 2000.

LUCHIARI JUNIOR, A.; SHANAHAN, J.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, A.; INAMASU, R.Y.; FRANCA, G.; MANTOVANI, E.; GOMIDE, R. Crop and soil based approaches for site specific nutrient management. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2002.

SCHEPERS, J. S.; SCHLEMMER, M. R.; FERGUNSON, R. B. Site-specific considerations for managing phosphorus. **Journal of Environmental Quality**, v. 29, p. 125-130, 2000a. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2000.00472425002900010016x>

SCHEPERS, J. S.; SHANAHAN, J. F.; LUCHIARI JUNIOR, A. Precision Agriculture as a tool for sustainability. In: GALANTE, E.; SCHEPERS, J. S.; WERNER, D.; WERRY, P. A. T. J. (Eds.). **Biological Resource Management: Connecting Science and Policy**. INRA Editions-Springer, 2000b. p.129-138.

SHANAHAN, J.; DOERGE, T.; SYNER, C.; LUCHIARI JUNIOR, A.; JOHNSON, J. Feasibility of variable rate management of corn hybrids and seeding rates in the great plains. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: University of Minnesota, 2000.

VARVEL, G. E.; SCHLEMMER, M. R.; SCHEPERS, J. S. Relationship between spectral data from aerial image and soil organic matter and phosphorus levels. **Precision Agriculture**, v. 1, p. 291-300, 1999. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009973008521>

WAGNER, G. L. **A producers view-charting the course for site-specific agriculture**. Bloomington: SOILTEQ, 1999. Charting the Course for Site-Specific Agriculture - Presentation and Executives Summaries.