

## Condutividade elétrica aparente do solo

Ladislau Marcelino Rabello<sup>1</sup>, Alberto Carlos de Campos Bernardi<sup>2</sup>,  
Ricardo Yassushi Inamasu<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Pesquisador, Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro 1452, São Carlos, SP, Brasil

<sup>2</sup>Pesquisador Embrapa Pecuária Sudestes, Rod. Washington Luiz, km 234, Fazenda Canchim, São Carlos, SP, Brasil

E-mail: ladislau.rabello@embrapa.br

**Resumo:** A condutividade elétrica aparente do solo ( $EC_a$ ) originou-se na medida da salinidade do solo, problema muito pertinente em zonas áridas associadas com lavouras de agricultura irrigadas e com áreas com lençóis freáticos de baixa profundidade. Sabemos que a  $EC_a$  do solo é muito influenciada por uma vasta combinação de propriedades físico-químicas do solo, tal como: sais solúveis; mineralogia e conteúdo de argila; quantidade de água presente no solo; densidade volumétrica; matéria orgânica e temperatura do solo. A maior aplicação da condutividade elétrica aparente do solo se dá em escala de campo no mapeamento da variabilidade espacial de muitas propriedades edáficas, p.ex. matéria orgânica, umidade, etc. e também na determinação de uma grande variedade de propriedades antropogênicas, tal como: fração de lixiviação; padrões de irrigação e drenagem; padrões de compactação devido a maquinários. Aparentemente a  $EC_a$  do solo é uma ferramenta rápida, confiável e fácil que outras técnicas, mas nem sempre correlacionadas com o rendimento das culturas. Por isso, a medida de  $EC_a$  está entre as mais frequentes ferramentas usada em pesquisa na agricultura de precisão para a caracterização espaço-temporal das propriedades edáficas e antropogênicas que influenciam a produtividade da cultura. O objetivo desse trabalho é levar ao conhecimento da técnica de  $EC_a$ , sistemas de medida de condutividade elétrica desenvolvidos e resultados dos trabalhos utilizando esse método em campos experimentais brasileiros no decorrer do andamento do projeto de agricultura de precisão da Embrapa.

**Palavras-chave:** condutividade, elétrica, aparente, solo, equipamento, mapas, agricultura de precisão.

### Soil Electric Conductivity Aparent

*The apparent soil electrical conductivity ( $EC_a$ ) originated in the measurement of soil salinity; very pertinent issue in arid areas associated with agricultural crops and irrigated areas with shallow groundwater. We know that  $EC_a$  soil is greatly influenced by a wide combination of physico-chemical properties of the soil, such as soluble salts, and clay content, mineralogy, amount of water present in the soil, bulk density, organic matter and soil temperature. The largest application of apparent soil electrical conductivity is in the range of field mapping of the spatial variability of many soil properties, eg organic matter, moisture, etc., and also in the determination of a wide variety of anthropogenic properties such as leaching fraction, irrigation and drainage patterns; compression standards due to machinery. Apparently  $EC_a$  soil is a tool fast, reliable and easy than other techniques, but not always correlated with crop yields. Therefore, the measurement of  $EC_a$  is among the most common tools used in research in precision agriculture to characterize the spatio-temporal and anthropogenic soil properties that influence crop yield. The aim of this work and to inform the technical  $EC_a$  systems, electrical conductivity measurements developed and results of studies using this method in experimental fields Brazilians during the progress of the project precision agriculture Embrapa.*

*Conductivity, electric, aparent, soil, system, maps, Precision Farmer.*

## 1. Introdução

Durante as últimas décadas, a agricultura global tem dado grande salto quanto ao item de produção, para suprir as necessidades da crescente população mundial. Porém sofre grande pressão para melhorar a qualidades das sementes e usarem menos pesticidas e sistema de irrigação.

No esforço de alimentar a população mundial, as atividades agrícolas têm causado grandes impactos ao meio ambiente, tais como o uso abusivo de fertilizantes e pesticidas, degradação do solo e qualidade da água. Desde os anos noventa práticas errôneas na produção agrícola contribuíram para uma degradação de 38%, correspondendo a 1.5 bilhões de hectares em todo o planeta, estima-se, que desde desta década, 5,5 milhões de hectares são perdidos anualmente (WORLD..., 1998).

Em termos globais a agricultura irrigada torna-se uma essencial contribuição para produção total de alimentos. No mundo 15% das terras usadas para plantio são irrigadas, estima-se que de 10% a 15% da água para agricultura irrigada é utilizada de maneira errada, resultando em encharcamento e salinização (ALEXANDRATOS, 1995).

Fora um grande avanço em algum ponto tecnológico para o aumento da produção agrícola em larga escala, a agricultura sustentável atualmente é vista como o mais viável recurso para demanda de alimento para a população mundial. Seu conceito baseia-se num delicado balanço entre maximizar a produção e manter a estabilidade econômica minimizando a utilização dos recursos naturais finitos e diminuindo os impactos ambientais nocivos pela utilização de agroquímicos poluentes.

O grande desafio da agricultura sustentável é de manter a produtividade agrícola em consonância com o crescimento populacional, para isto a agricultura de precisão é uma importante ferramenta a ser utilizada.

Convencionalmente as culturas são tratadas de forma homogênea, ignorando as inerentes variações entre solo e da cultura. Desde os anos 70, com o trabalho de Nielson e colaboradores,

já demonstravam uma variabilidade espacial das propriedades do solo (NIELSON; BIGGAR; ERH, 1973).

A introdução de equipamentos de monitoramento de campo e do GPS, facilitaram o estudo e documentação da variabilidade espacial da cultura e das propriedades do solo em escala de campo.

A variabilidade espacial em culturas é o resultado de uma complexa interação de fatores, tais como, biológico (micróbios, vermes etc.), edáfico (salinidade, matéria orgânica, nutrientes, etc.), antrópico (atividades humanas, compactação do solo devido a máquinas agrícolas), topografia (relevo, elevação) e climático (umidade relativa, temperatura, etc.).

O manejo de uma cultura em sítio-específico objetiva a orientar o manejo do solo, pragas e na cultura de acordo com a sua variação espacial dentro do campo (LARSON; ROBERT, 1991).

A agricultura de precisão adotou rapidamente tecnologias eletrônicas e de informação para facilitar os estudos da cultura dentro de sua variabilidade espacial. Primeiro em meados dos anos 80 os equipamentos eram levados a campo, depois nos anos 90 surgem novas tecnologias como o GPS (sistema de posicionamento global) e de sistemas de informações geográficas (GIS) (VAN SCHILFGAARDE, 1999).

Atualmente a agricultura de precisão adota tecnologias mais sofisticadas de sistemas GPS, sistemas de monitoramento de campo e sistemas de aplicações a taxas variadas de produtos agroquímicos combinados e adaptadas com sistemas GIS e sensoriamento remoto (indução eletromagnética, fotografia aérea, imagens de satélites, etc.) ou então o uso de tecnologias de medidas rápidas de propriedades do solo, tal como resistividade elétrica e TDR (time domain reflectometry) (PLANT, 2001).

Para gerenciar a variabilidade dentro de uma cultura, devem ser especificadas regiões, georreferenciadas, que exibem comportamento semelhante em se tratando de uma característica específica (VAN UFFELEN; VERHAGEN; BOUMA, 1997).

Mapas de colheitas fornecem informações dos processos físicos, químicos e biológicos sob certas condições climáticas, informando básicas condições de implementação do manejo em sitio-especifico da cultura indicando onde aplicar os insumos ou correções necessárias, baseadas nos padrões espaciais de produtividade da cultura (LONG, 1998).

Porém os mapas de colheitas sozinhos, não são suficientes para fornecer informações para distinguir entre as diversas fontes de variabilidade e não dão orientações claras sobre a influência da variabilidade do clima, pragas, doenças e propriedades físico-químicas do solo dentro de uma cultura em um determinado ano.

Bullock e Bullock (2000), em seu trabalho demonstram a importância das medidas das variações das propriedades físicas e químicas do solo em agricultura de precisão. A medição da condutividade elétrica aparente do solo (EC) é uma tecnologia que se tornou a uma ferramenta valiosa para identificar as características físico-químicas do solo que influenciam os padrões de rendimento das culturas e para estabelecer a variação espacial dessas propriedades do solo (CORWIN et al., 2003).

A agricultura de precisão não requer apenas a informação espacial para determinar onde e como aplicar uma ação, tal como, o momento de fertilizar, o momento de aplicar pesticidas ou o momento de irrigação, mas também requer informações temporais para saber quando aplicar.

Neste documento abordaremos um pouco sobre a teoria básica da medida de condutividade

elétrica, alguns tópicos sobre as técnicas de medida de condutividade elétrica aparente (indução eletromagnética, resistividade elétrica) e resultados de alguns trabalhos realizados no decorrer do projeto de agricultura de precisão MP1-Agricultura de Precisão.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Princípio da medida de condutividade elétrica aparente

A medida de condutividade elétrica aparente consiste em usar amostra de forma e dimensões conhecidas (quadrada, cilíndrica, etc..). A resistência elétrica é então calculada pela seguinte equação:

$$R = \rho \left( \frac{L}{A} \right) \quad \text{eq. 01}$$

Onde:

R = resistência elétrica [Ohms,  $\Omega$ ];

$\rho$  = resistividade elétrica [Ohms.centímetros,  $\Omega.cm$ ];

L = comprimento da amostra [centímetros, cm];

A = área de secção transversal da amostra [centímetros quadrados,  $cm^2$ ];

Para amostras de formas e dimensões não definidas, utiliza-se o método conhecido como *sistema de quatro pontos* (SMTIS, 1958), muito utilizado em geofísica. Consiste em utilizar quatro eletrodos de metal alinhados seqüencialmente com espaçamentos conhecidos, Figura 1.

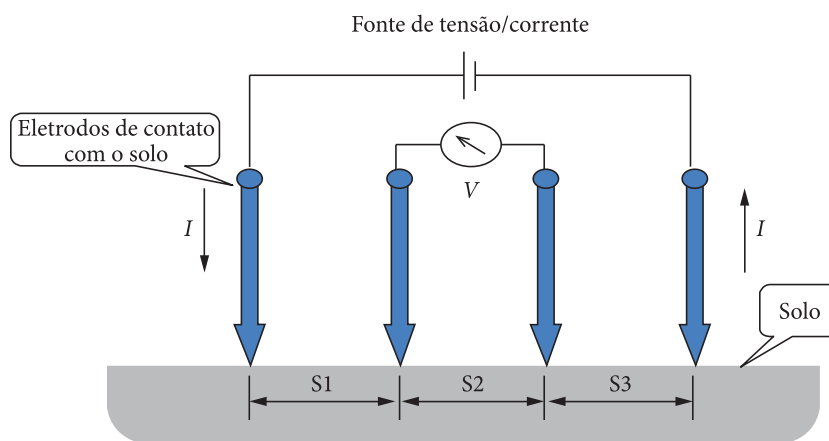


Figura 1. Sistema quatro pontos.

A corrente elétrica I (Ampère) é injetada nos eletrodos externos e a tensão V (Volts) é lida nos dois eletrodos centrais. A resistividade é então calculada com a seguinte equação:

$$\rho = \left\{ \frac{2\pi \left( \frac{V}{I} \right)}{\left( \frac{I}{S_1} \right) + \left( \frac{I}{S_2} \right) - \left( \frac{I}{[S_1 + S_2]} \right) - \left( \frac{I}{[S_2 + S_3]} \right)} \right\} \text{ eq. 02}$$

Em um caso específico:  $S_1 = S_2 = S_3$ , temos:

$$\rho = \left\{ 2\pi \cdot S \left( \frac{V}{I} \right) \right\} \text{ eq. 03}$$

A condutividade elétrica,  $\sigma$ , é definida como o inverso da resistividade elétrica, assim temos:

$$\sigma = \left( \frac{I}{\rho} \right) \text{ eq. 04}$$

## 2.2. Descrição de equipamentos de medida de condutividade elétrica

A utilização de equipamentos nacionais para a medida de condutividade elétrica aparente é um problema devido a estes serem importados, que dificulta a realização de medidas em solos brasileiros uma vez que estes equipamentos foram projetados para realizar as medidas em seu país de origem, calibrados com a cultura que mais usariam como exemplo, a cultura de milho no meio oeste estado unidense.

Os equipamentos utilizados na medida de condutividade elétrica aparente do solo nesse projeto baseiam-se nas técnicas de contato, sistema quatro pontos e indução eletromagnética e por fim o desenvolvimento de um sistema nacional para medida de  $EC_a$  adaptado as necessidades de uso do projeto mp1-Agricultura de Precisão.

### 2.2.1. Sistema de quatro pontos:

Esse sistema compreende uma estrutura metálica composta de seis discos de cortes, servindo como eletródos de medidas. Essa estrutura é engatada a um veículo de arraste (trator, caminhonetes, etc..) para a medida continua de  $EC_a$ , composto também por uma

unidade eletrônica para coleta e armazenamento de dados de condutividade elétrica junto com uma entrada para sistema de georreferenciamento por satélite, GPS - Global Position System.

O sistema em si é fechado e calibrado segundo o fabricante, não deixando o usuário fazer adaptações que permitam a sua utilização além daquela que foi projetado.

O fato de o sistema usar seis eletrodos e usar o método de medida de quatro pontos se deve a fazer a medida em duas profundidades diferentes praticamente em tempo igual, ou seja, dois sistemas de quatro pontos em um só, utilizando a mesma fonte de corrente, Figura 1, para os dois sistemas.

Esse sistema é produzido e fabricado pela empresa Veris Technology, Nebraska USA (VERIS..., 2012), ilustrado na Figura 2.

### 2.2.2. Indução eletromagnética:

O sistema baseia-se na medida de condutividade elétrica do solo pela indução eletromagnética devido a passagem de corrente elétrica em uma bobina elétrica, esse sinal induz uma corrente elétrica na amostra de solo que se deseja medir, com a passagem da corrente elétrica na amostra, essa induz uma onda eletromagnética que é recebida por outra bobina elétrica no equipamento, o sinal então devido a essa corrente induzida na amostra nos dá a correspondente medida de condutividade elétrica do solo.

Equipamento também importado e dedicado não deixando o usuário adaptar a outras condições que projetado. Fabricado o Canadá pela empresa Geonics Limited, utilizado em sua origem para aplicações militares na detecção de minas explosivas.

Foto: Veris® Technologies (<http://www.veristech.com/>)



Figura 2. Sistema de medida condutividade elétrica aparente, V3100.

Na Figura 3 é ilustrado o sistema de medida de condutividade elétrica aparente por indução eletromagnética.

### 2.2.3. Sistema protótipo desenvolvido

Conforme descrito anterior e descrição dos equipamentos usados para medida de  $EC_a$ , o sistemas são embarcados não permitindo ajustes e calibração por parte do usuário, dificultando em certos aspectos a continuidade do projeto MP1-Agricultura de Precisão.

O equipamento mais usado foi o de quatro pontos, V3100, mas esse em certas culturas não tem como realizar a medida devido ao seu tamanho e flexibilidade de ajustes entre eletrodos, assim houve a necessidade de projetar e desenvolver um sistema baseado no método de medida de quatro pontos, que proporcionasse aos usuários essa flexibilidade de ajustes na distância de eletrodos, podendo medir diferentes profundidades de acordo com o limite de medida do equipamento e que possibilitassem a leitura de  $EC_a$  em regiões não atendidas pelo sistema V3100 e nacionalização e domínio da tecnologia.

Foto: L.M. Rabello



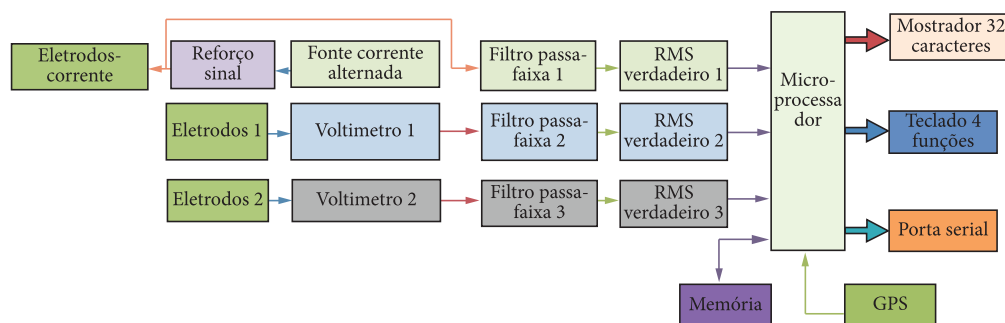
**Figura 3.** sistema medida de condutividade elétrica por indução eletromagnética, EM38-MK2

A Figura 4 ilustra o diagrama de bloco do sistema desenvolvido, esse, utiliza como processador central o PIC18F258 de fabricação Microchip Technology (<http://www.microchip.com>). O sistema foi projetado para leitura de dois sistema de medida de quatro pontos, composto de dois voltímetros, um de ganho unitário e outro de ganho três para medidas mais profundas, uma fonte de tensão alternada de 159Hz, para a medida de corrente elétrica, três filtros de sinal para cada canal de leitura, três conversores de sinal alternado para contínuo, mostrador de LCD (light crystal diodes) de 32 caracteres para visualização dos sinais de condutividade e informações de controles, teclado de quatro funções de comunicação usuário e maquina, porta serial padrão RS232 para comunicação e transferência de dados armazenados e sentenças NEMA para GPS e memória flash para armazenamento de dados coletados de capacidade 64Kbytes. Na Figura 5 é ilustrado o sistema projetado.

Foto: L.M. Rabello



**Figura 5.** Sistema protótipo de medida de condutividade elétrica.



**Figura 4.** Diagrama de bloco Sistema protótipo de mapeamento de condutividade elétrica.

### 3. Resultados e Discussão

A utilização do método de condutividade elétrica aparente do solo, através dos equipamentos acima mencionados, como ferramenta de uso na agricultura de precisão proporcionou aos pesquisadores e membros da equipe composta no projeto MP1-Agricultura de Precisão um método rápido, eficaz e pouco dispendioso no levantamento de dados para a seqüência de seus trabalhos.

Com a prévia medida da ECa nos trabalhos, possibilitou aos pesquisadores uma rápida visualização da variabilidade espacial da região de interesse, dividindo-as em regiões de estudos.

Uma seqüência de trabalhos foi realizada com a metodologia de medida de condutividade elétrica aparente no início dos trabalhos do projeto MP1-Agricultura de Precisão como em Oliveira, Bernardi, Rabello, 2011, cujo trabalho é de validar um modelo para a quantificação semiautomática da variabilidade espacial do solo, para adotar um índice de oportunidade para a adoção da tecnologia, onde conclui que o modelo mostrou ser robusto, apresentando consistência de resultados e flexibilidade de aplicação. Com

base no conhecimento agrônomo de campo foi possível sugerir que os índices acima de média histórica correspondem ao potencial de adoção existente nos talhões.

Luchiari Junior et al. (2011), em seu trabalho para definição de zonas de manejo utilizam a condutividade elétrica, por indução eletromagnética, para definir zonas de manejos de acordo com outros parâmetros que se é utilizado nos trabalhos. Onde especifica que o mapa de condutividade elétrica revelou padrões similares aos mapas de reflectância e de zonas de manejo.

Resende e Vilela (2011); Vilela et al. (2011), fazem uma avaliação geral do uso de agricultura de precisão em culturas anuais, onde enfatiza o uso de ferramentas de caracterização da variabilidade das áreas em estudo utilizando sensor de condutividade elétrica do solo, modelo digital de elevação do terreno e imagens aéreas, subsidiando o diagnóstico de fatores condicionantes de variações de produtividade nos talhões de estudo.

Oliveira, Franchini, Debiasi, 2011, fazem um estudo da variabilidade espacial da produtividade da soja, milho-soja e da condutividade elétrica do solo para um específico tipo de solo, Latossolo Bruno, onde concluem que a ECa e a produtividade da soja apresentaram dependência espacial e foram mapeadas. A produtividade da soja foi significamente e inversamente correlacionada com a ECa, terminando em que a ECa é um parâmetro útil na definição de zonas de manejos diferenciadas dentro de uma lavoura.

Brandão et al. (2011), estudam a correlação da ECa com o pH em solos no cerrados de Goiás, onde avaliam a variabilidade espacial e geração de mapas de ECa, para correlacionar os valores

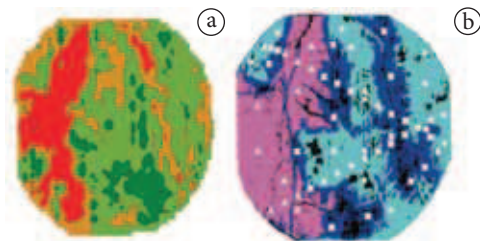


Figura 6. a) Mapa de condutividade elétrica do solo e b) mapa de zonas homogêneas de manejo.

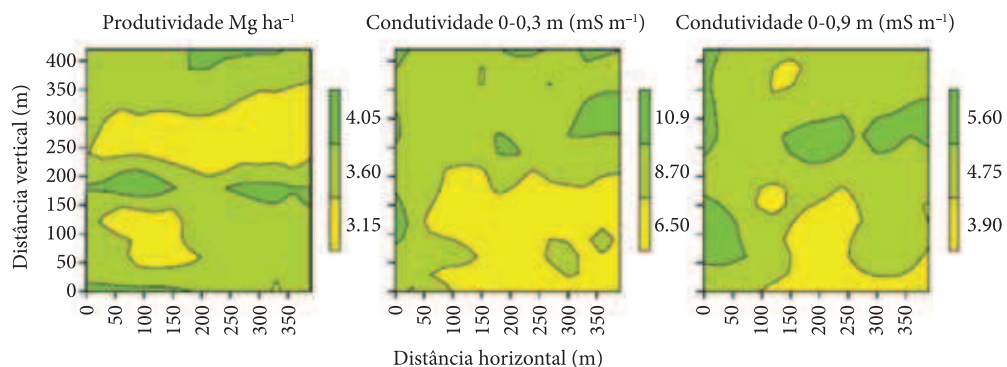


Figura 7. mapas condutividade elétrica e da produtividade da soja.

de ECa e pH do solo, no qual indicam que há boa similaridade entre os valores de ECa e pH, concluindo que a ECa pode ser utilizada para caracterizar a variabilidade e como bom estimador do pH e acidez potencial do solo no Cerrado.

Oliveira, Benites, 2011, fazem um estudo sobre a variabilidade do solo como indicador da oportunidade da agricultura de precisão em sistema de plantio direto, tendo como objetivo caracterizar a variabilidade espacial por técnicas quantitativas na avaliação do potencial das informações no apoio as decisões de um sistema produtivo. Neste trabalho Oliveria ressaltava a condutividade elétrica do solo como uma ferramenta importante na interpretação da variação espacial do talhão e no suporte a esquemas otimizados de amostragem do solo.

Grego et al. (2011), fazem um estudo geostatístico da condutividade elétrica e a altitude de um solo cultivado com cana-de-açúcar, tendo como objetivo verificar a variabilidade espacial da condutividade elétrica do solo e da declividade do solo sob um sistema de plantio direto, concluindo que a variabilidade espacial encontrada nos resultados de condutividade elétrica correspondem as diferenças de altitude sendo úteis para diagnosticar características do solo e da planta que variam conforme a topografia do terreno, Figura 8.

Perez et al. (2011), fazem um estudo sobre variabilidade espaço-temporal em sistemas de integração lavoura-pecuária onde correlaciona uma determinada praga com a condutividade elétrica, onde conclui um padrão de reinfestação associado às áreas de maior condutividade elétrica.

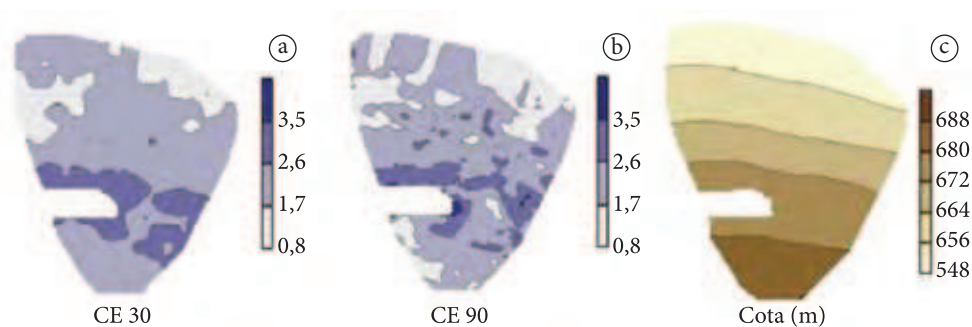
Salton et al. (2011), estudaram a condutividade elétrica para correlacionar com alguns atributos

físicos e químicos de um latossolo com histórico de 15 anos de manejo onde verificou que a condutividade elétrica pode auxiliar na delimitação das zonas de manejo e áreas homogêneas quando submetidas ao mesmo sistema de manejo.

Bernardi et al. (2011), no estudo da variabilidade espacial de propriedades do solo em pastagem manejadas intensivamente com o objetivo de conhecer a variabilidade espacial do solo para um uso racional de insumos, tal como a aplicações a taxa variável de calcário e fertilizante. Tiveram problemas correlacionados ao local devido a ser uma área de pastagem havia muita incidência de touceiras de capim, o que dificultava o uso de sistema de medida de condutividade elétrica importado, usando neste caso o sistema desenvolvido no projeto, indicando que a área em estudo apresentava-se muito homogênea quanto às propriedades do solo.

Miele, Flores e Filippini Alba (2011), como objetivo de melhorias das técnicas de manejo em cultura de uva, fazem um estudo de uso de várias técnicas de agricultura de precisão, inclusive a condutividade elétrica do solo no auxílio nas tomadas de decisões das melhores maneiras de manejo. Também em videira, Nascimento et al. (2011), faz um estudo para determinação de áreas homogêneas com condutividade elétrica do solo em solo do semiárido, Figura 9.

Rabello L. M. e colaboradores fazem um trabalho detalhado sobre os métodos de condutividade elétrica, equipamentos desenvolvidos e adaptações de sistemas importados a outros tipos de implementos agrícolas tal como subsoladores e semeadoras, bem como descrevem o desenvolvimento de um sistema nacionalizado para uso geral na medida



**Figura 8.** Mapas de isolinhas: a) condutividade elétrica 0-30 cm; b) condutividade elétrica 0-90 cm e c) cota altimétrica (m).

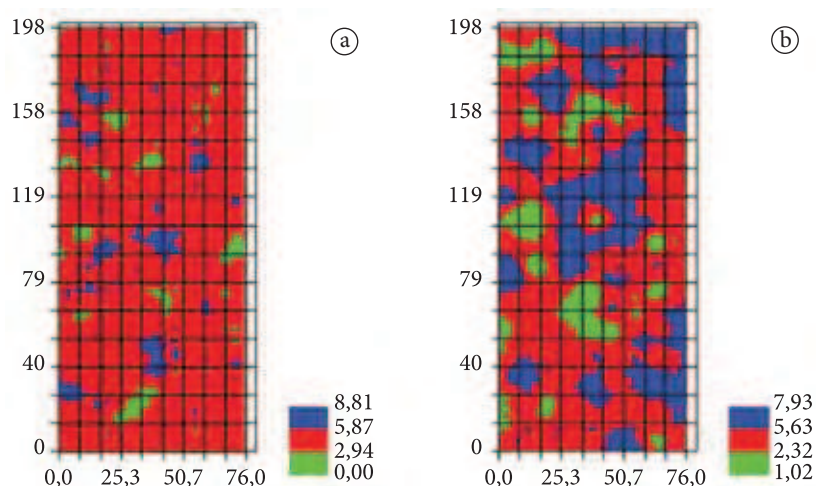


Figura 9. mapas de zonas homogêneas da condutividade elétrica aparente, cultura de uvas do semiárido.

de condutividade elétrica, (RABELLO, 2009; RABELLO; INAMASU; BERNARDI, 2010; RABELLO et al., 2008; INAMASU, 2007)

#### 4. Conclusões

O uso da condutividade elétrica aparente do solo tem demonstrado como uma importante ferramenta para os trabalhos de agricultura de precisão, sua facilidade, simplicidade e praticidade leva a economia de tempo e custo na realização das tomadas de decisões das áreas de manejo e de variabilidade espacial das áreas de estudos. Mas a CEa sozinha não responde a todas as perguntas é necessário após o mosaico de dados que ela proporciona, minerar esses dados e torná-los mais amigável ao usuário. Atualmente a CEa está na fase de mapas, necessário agora a análise de dados para diversos campos da pesquisa agropecuária como descrito nos trabalhos acima citados e depois a correlação desses dados para os pesquisadores na correta tomada de decisão na aplicação de insumos, manejo adequado e automatização dos processos agrícolas na melhoria das condições ambientais e de demanda por alimentos.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os membros da equipe, muitos são os nomes que impossível de editá-los nesse espaço, que de forma direta ou indireta participaram assiduamente na

realização desses trabalhos, A medida de CEa, por simples que seja, demanda tempo e dedicação em campos experimentais sob condições climáticas as vezes nem tão desejáveis dos seus usuários. Agradecimentos a coordenação do projeto MP1-Agricultura de Precisão que tornou possível o domínio e desenvolvimento de tecnologia de condutividade elétrica.

#### Referências

- ALEXANDRATOS, N. (Ed.). **World agriculture: towards**. Chichester: Wiley, 1995. p. 2010.
- BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; INAMASU, R. Y.; RABELLO, L. M. Variabilidade espacial de propriedades do solo em pastagem manejada intensivamente em São Carlos, SP. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 261-266.
- BRANDÃO, Z. N.; ZONTA, J. H.; MEDEIROS, J. C.; SANA, R. S.; FERREIRA, G. B. Condutividade elétrica aparente e sua correlação com o pH em solos no cerrado de Goiás. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 162-167.
- BULLOCK, D. S.; BULLOCK, D. G. Economic optimality of input application rates in precision farming. **Precision Agriculture**, v. 2, p. 71-101, 2000.
- 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.



- GREGO, C. R.; RABELLO, L. M.; BRANCALÃO, S. R.; VIEIRA, S. R.; OLIVEIRA, A. Geostatística aplicada a condutividade elétrica do solo e altitude do solo cultivado com cana-de-açúcar. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 245-248.
- INAMASU, R. Y.; SIMÕES, M. S.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; RABELLO, L. M.; MOLIN, J. P. **Sistema de medida de condutividade elétrica do solo adaptado a um implemento agrícola (subsolador)**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2007. 5 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Circular Técnica, 40).
- LARSON, W. E.; ROBERT, P. C. Farming by soil. In: LAL, R.; PIERCE, F. J. (Ed.). **Soil Management for sustainability**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1991. p. 103-112.
- LONG, D. S. Spatial autoregression modeling of site-specific wheat yield. **Geoderma**, v. 85, n. 2, p. 181-197, 1998.
- LUCHIARI JUNIOR, A.; BORGHI, E.; AVANZI, J. C.; FREITAS, A. A.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; INAMASU, R. Y. Zonas de manejo: teoria e prática. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 60-64.
- MIELE, A.; FLORES, C. A.; FILIPPINI ALBA, J. M. Status atual da pesquisa de viticultura de precisão no Rio Grande do Sul: primeiros resultados da UP Uva para Vinho. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, Á. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 267-272.
- NASCIMENTO, P. S.; ROCHA, M. G.; SILVA, J. A.; COSTA, B. R. S.; RABELLO, L. M.; BASSOI, L. H. Zonas homogêneas de condutividade elétrica aparente em Neossolo Quartzarênico no Semiárido. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 290-293.
- NIELSON, D. R.; BIGGAR, J. W.; ERH, K. T. Spatial variability of field-measured soil-water properties. **Hilgardia**, v. 42, n. 7, p. 215-259, 1973.
- OLIVEIRA, F. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H. Variabilidade espacial da produtividade da soja e da condutividade elétrica de um Latossolo Bruno. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2011. p. 153-156.
- OLIVEIRA, R. P.; BENITES, V. M. Variabilidade do solo como indicador da oportunidade da agricultura de precisão em sistema de plantio direto. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 194-200.
- OLIVEIRA, R. P.; BERNARDI, A. C. C.; RABELLO, L. M. A oportunidade de manejo por sítio específico indicada na variação espacial da condutividade elétrica aparente do solo. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 55-59.
- PEREZ, N. B.; NEVES, M. C.; VOLK, L. B. S.; MARTINS, L. A.; SISTI, R. N. Variabilidade espaço-temporal em sistemas de integração lavoura-pecuária na Região Sul do Brasil: perspectivas de intervenção com agricultura de precisão. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, Á. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 249-253.
- PLANT, R. E. Site-specific management: the application of information technology to crop production. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 30, p. 9-29, 2001.
- RABELLO, L. M. **Condutividade elétrica do solo, tópicos e equipamentos**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. 19 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Documentos).
- RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C. **Sistema de medida de condutividade elétrica do solo**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2010. 8 p. (Embrapa Instrumentação. Circular Técnica, 54).
- RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y.; TORRE NETO, A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; MOLIN, J. P. **Medida de condutividade elétrica do solo adaptada a uma plantadeira**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. 4 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Circular Técnica, 46).
- RESENDE, A. V.; VILELA, M. F. Avaliação geral, resultados e perspectivas do uso de agricultura de precisão em culturas anuais. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 135-137.
- SALTON, J. C.; TOMAZI, M.; COMUNELLO, E.; ZANATTA, J. A.; RABELLO, L. M. Condutividade elétrica e atributos físicos e químicos de um Latossolo após 15 anos sob sistemas de manejo em Mato Grosso do Sul. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 254-260.

SMTIS, F. M. Measurements of sheet resistivities with the four-point probe. **Bell System Technical Journal**, v. 37, p. 711-718, 1958.

VAN SCHILFGAARDE, J. Is precision agriculture sustainable? **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 14, p. 43-46, 1999.

VAN UFFELEN, C. G. R.; VERHAGEN, J.; BOUMA, J. Comparison of simulated crop yield patterns for site-specific management. **Agricultural Systems**, v. 54, p. 207-222, 1997.

VERIS TECHNOLOGIES. **Soil EC 3100**. Salina. Disponível em: <<http://www.veristech.com/products/3100.aspx>>. Acesso em: 22 jul. 2012.

VILELA, M. E.; HURTADO, S. M. C.; RESENDE, A. V.; CORAZZA, E. J.; MARCHAO, R. L.; OLIVEIRA, C. M.; GOULART, A. M. C. Mapeamento preliminar de zonas de manejo em sistema de produção de milho-soja no Cerrado. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 189-193.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **1998-99 World Resources: a guide to the Global Environment**. New York: Oxford University Press, 1998.