

MAPEAMENTO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA DO SOLO POR SENSOR DE CONTATO

L.A.A MENEGATTI¹, J.P. MOLIN²

III Simpósio sobre Agricultura de Precisão
ESALQ/USP Piracicaba – SP, 16 a 18 de outubro de 2001

RESUMO: O presente trabalho trata do desenvolvimento de um sensor de resistência elétrica do solo por contato. Como coletor de dados de resistência elétrica e de posicionamento utilizou-se um monitor de produtividade. Como porta de entrada de dados utilizou-se conexão destinada ao sensor de umidade. Desenvolveu-se um sistema que mede a resistência do solo, composto por dois circuitos que foram alimentados com +36 ou + 24 V e tinham saída de + 24 ou + 12 V estabilizado. Os pólos positivo e negativo foram conectados a dois discos lisos de uma semeadora com espaçamento de 0,45m entre discos. A esse circuito foi adicionado, em série, um resistor, através do qual, mediu-se a queda de voltagem que é proporcional à resistência total do circuito (resistência do solo + resistor), medida diretamente pelo monitor de produtividade. Foi mapeada uma área de 4,7 ha, sendo utilizado para o posicionamento das leituras um GPS com sinal diferencial via satélite. Os valores de resistência do solo foram interpolados e correlacionados com outros fatores de produção previamente levantados na mesma área. As correlações mais significativas foram argila (0,32); areia (-0,26); CTC(-0,25); produtividade (0,27) e índice de cone a 10cm de profundidade (0,22). Conclui-se que o sensor é sensível às alterações do solo e que pode ser fonte de informação para tomada de decisões em Agricultura de Precisão.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão, variabilidade espacial, fatores de produção.

SOIL ELECTRICAL RESISTENCE MAPPING USING CONTACT SENSOR

ABSTRACT: This paper deals with the development of a soil resistance sensor using the principle of contact between the soil and electrodes. As datalogger, a yield monitor was used with the moisture sensor port adapted to receive the signal from a circuit. The circuit was supplied with 36 or 24 V with output voltage of 24 or 12 V established. The positive and negative poles were connected to the previously isolated coulter of a

¹ Eng. Agrônomo, mestrando, Bolsista Fapesp, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11, CP 09, Piracicaba, São Paulo, CEP 13418-900, tel 19 34264165, laameneg@esalq.usp.br

² Prof. Doutor, bolsista CNPq, Departamento de Engenharia Rural, Esalq/USP, jpmolin@esalq.usp.br

planter, spaced 0,45m each other. A resistor was added to the circuit to measure the total current, that is proportional to the soil resistance plus the resistance of the resistor. An DGPS with saterlite correction was used for positioning. The data collected was interpolated and a correlation matrix with other production factor previously determinated was performatted and the more significant correlations were with clay (0,32), sand (-0,26), CTC (0,25), yield (0,27) and cone index 0,1 m deep (0,22). The sensor is sensible to the variability of soil electrical resistance and the information gathered may be used to support decision making.

KEYWORDS: Precision agriculture, spatial variability, yield factors.

INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão preconiza que o manejo das lavouras pode ser melhor conduzido se a variabilidade espacial da produtividade e dos fatores a ela relacionados forem conhecidos. Esses fatores podem ser tratados localizadamente ou as lavouras podem ser divididas em unidades de manejo diferenciado.

As ferramentas para gerar mapas de produtividade de grãos e várias outras culturas já são disponíveis para o usuário (MOLIN, 2000). No entanto, o domínio das variáveis associadas à variabilidade espacial da produtividade dentro de um talhão, ainda carece de muito estudo. As correlações existentes entre a variável dependente produtividade e os fatores de produção, normalmente relacionados aos componentes da fertilidade do solo, são muito baixas (MOLIN et al. 2001) e as tentativas de explicar os fenômenos locais com alguns poucos fatores são frustradas. ACOCK e PACHEPSKY (1997) consideram que o domínio das relações entre solo, planta e ambiente são melhor entendidas utilizando-se de ferramentas de modelagem. Porém, como o conhecimento das plantas não está suficientemente dominado, esses modelos ainda não respondem a contento.

Além dos mapas de produtividade, outras investigações podem auxiliar na definição de unidades de manejo. JOHANNSEN et al. (2000) apresentam uma visão do uso combinado do sensoriamento remoto para obter índices de vegetação associados a outros recursos como a amostragem de solo em grade e condutividade elétrica do solo. Estudos com o uso da condutividade elétrica do solo têm apontado seu potencial para a mensuração de conteúdo de argila (WILLIAMS e HOEY, 1987), conteúdo de água (KACHANOSKI, 1988), capacidade de troca catiônica teores de cálcio e magnésio trocáveis (McBRIDE et al., 1990), profundidade de camada de impedimento (DOOLITTLE et al., 1994 e CLARK et al., 2000), teor de matéria orgânica (JAYNES et al., 1996), teor de sais da solução do solo (CAMINHA JUNIOR et al., 1998), dentre outros.

A condutividade elétrica do solo pode ser medida por contato injetando corrente elétrica em eletrodos isolados ou indiretamente com o uso de corrente induzida por um campo magnético sem contato com o solo. Existem equipamentos comerciais que contemplam ambos os métodos e foram testados mostrando resultados comparáveis (SUDDUTH et al., 1998). HARTSOCK et al. (2000) trabalharam com um sensor de condutividade elétrica por contato disponível no comercio e observaram variabilidade

temporal nos níveis de condutividade elétrica; no entanto as tendências se mantiveram, indicando seu uso potencial para a detecção de unidades de manejo.

Em geral, a dependência da densidade da corrente em um campo elétrico forte, num solo insaturado pode ser bastante complexa e para simplificar, sua relação pode ser assumida como sendo diretamente proporcional como um outro material condutor qualquer (RADITE, 1997). A densidade de corrente no meio condutor depende da força do campo elétrico e da natureza do condutor. Supondo uma corrente constante através de uma seção, sob um campo elétrico uniforme entre os eletrodos, a resistência do material é dada por:

$$E = I \frac{L}{A \cdot \sigma} \quad (1)$$

ou

$$R = \frac{L}{\sigma \cdot A} \quad (2)$$

e a condutividade elétrica do solo é dada por:

$$\sigma = \frac{L}{R \cdot A} = \frac{I \cdot L}{A \cdot V} \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (4)$$

onde:

E = força do campo elétrico (V/cm)
 σ = condutividade elétrica do solo (S/cm)
V = potencial elétrico entre os eletrodos (v)
R = resistência elétrica (Ω)
 ρ = resistividade elétrica ($\Omega \cdot \text{cm}$)
I = corrente elétrica (A)
A = área do eletrodo (cm^2)
L = distância entre os eletrodos (cm)

O trabalho objetivou desenvolver um sensor de resistência elétrica do solo, utilizando um monitor de produtividade como acumulador de dados, e os discos de corte de uma semeadora para semeadura direta como sensores, coletando dados numa área agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a coleção de dados foi utilizado o monitor de produtividade RDS Ceres 2 (Figura 1). Para a utilização do monitor houve necessidade do estudo e simulação dos sinais dos demais sensores que o compõe. Foram elaborados circuitos que simulam a entrada dos sensores de temperatura, velocidade, produtividade e inclinação.

O sensor de temperatura tem como saída uma voltagem, que varia de 0 a 6 V, e sua simulação foi feita com uma resistência variável regulada para que o sinal de saída fosse equivalente à temperatura de 25 °C. O sensor de velocidade utilizado no monitor é

do tipo magnético, e gera um pulso cuja frequência é proporcional à velocidade de deslocamento. Para a simulação deste sensor, foi gerado um sinal pulsante numa frequência qualquer, e a velocidade mostrada no monitor foi acertada pelo fator de calibração para 9 km/h. O sensor de inclinação também tinha como saída voltagem, e sua simulação foi feita com resistência variável, calibrando o sinal para que o monitor interpretasse inclinação nula. O sensor de produtividade tem como saída um sinal de frequência e amplitude variáveis. A frequência do sinal de simulação foi ajustada em 18 hz e amplitude fixa, de modo que o sinal correspondia à produtividade de 17 t/ha, em função também da simulação do sensor de velocidade.



Figura 1 – Monitor de produtividade utilizado para aquisição de dados.

O sensor de umidade tem como saída uma voltagem diferencial, que pode variar de 0 a 6 V, e foi escolhido como entrada do sinal do sensor de resistência elétrica desenvolvido por ser um sinal gravado diretamente no arquivo de produtividade, por ser um sinal que pode ser lido diretamente do circuito que é sensível à resistência do solo e também por ser um sinal influenciado apenas pelo sensor de temperatura, que pôde ser simulado e controlado com segurança. A Figura 2 mostra a curva de calibração e a equação ajustada aos dados do sensor de umidade (equação 5).

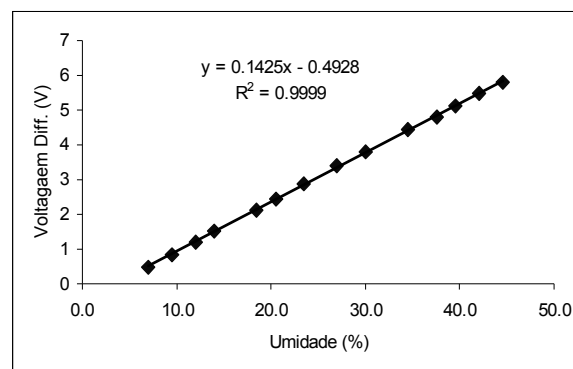


Figura 2 – Curva de calibração do sensor de umidade em função da voltagem diferencial aplicada e equação de calibração.

$$VD = 0,1425 * Umidade - 0,4928 \quad (5)$$

onde:

VD é a voltagem diferencial consumida no resistor em série com a resistência do solo;

Umidade é a umidade gravada no arquivo de produtividade gerado pelo monitor.

O monitor de produtividade registra umidade com resolução de 0,5%, o que significa resolução de 0,0713V para a leitura da voltagem diferencial. O arquivo gerado pelo monitor foi trabalhado em planilha eletrônica e pela equação de calibração, os valores de umidade foram convertidos em voltagem.

O circuito ilustrado na Figura 3 foi montado para a leitura da resistência elétrica do solo. É composto por fonte de potência, estabilizador, e resistências em série com a resistência do solo para a leitura da corrente do sistema. Devido à baixa resolução de leitura do sistema de aquisição dos dados, houve necessidade de utilizar diferentes voltagens e resistores para a medição da resistência do solo. As fontes de potência utilizadas foram baterias ligadas em série, que forneciam voltagem de 24V, com saída estabilizada em 12V ou 36V, com saída estabilizada em 24V, sendo apenas uma das opções utilizadas por vez. Foram instalados cinco resistores com ponte de ligação em série com a resistência do solo, sendo que apenas um por vez pode ser acionado. A leitura da voltagem diferencial é feita através dos resistores. A Tabela 1 mostra os resistores utilizados e a capacidade de leitura do sistema quando cada um deles for selecionado. Assim, o sistema é capaz de ler resistências do solo variando de 10,8 a 6118,0 ohms a mudança de resistor foi executada manualmente quando a umidade mostrada no monitor atingia o limite de 45%, equivalente a 5,91 V. A equação diferencial (6) descreve o funcionamento do sistema e a obtenção do valor da resistência do solo em função da voltagem aplicada, do resistor utilizado e da voltagem diferencial dada pela equação (5).

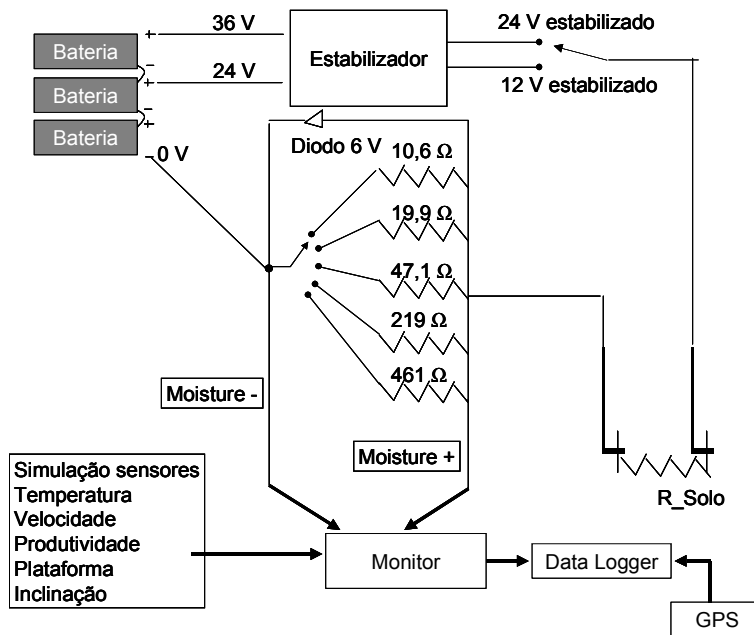


Figura 3 – Esquema do circuito montado para a leitura da resistência do solo.

$$R_{solo} = \left(\frac{R_{resistor} * U_{total}}{VD} \right) - R_{resistor} \quad (6)$$

onde:

R_{solo} é a resistência do solo;

$R_{resistor}$ é a resistência do resistor utilizado;

U_{total} é a voltagem diferencial total;

VD é a voltagem diferencial através do resistor em série com a resistência do solo.

Tabela 1 – Limites máximos e mínimos de capacidade de leitura do sistema em função da voltagem aplicada e do resistor em série com a resistência do solo.

Resistência (ohm)		Voltagem (V)	
		12	24
		Resistência do solo (ohm)	
10,6	Máximo	74,2	154,5
	Mínimo	10,8	30,9
19,9	Máximo	143,3	298,5
	Mínimo	20,9	59,7
47,1	Máximo	339,1	706,5
	Mínimo	49,5	141,3
219,0	Máximo	1576,8	3285,0
	Mínimo	230,0	657,0
461,0	Máximo	3319,2	6918,0

Mínimo	484,1	1160,0
--------	-------	--------

O circuito e o sistema de aquisição de dados foram instalados numa semeadora com dois de seus discos de corte isolados eletricamente do chassi da máquina. Um GPS instalado forneceu o posicionamento. A coleta de dados foi feita durante a semeadura de soja, com espaçamento entre discos de 0,45m numa lavoura no município de Pirassununga, SP. Esta área faz parte do Projeto AP desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP e vem sendo intensivamente monitorada. O solo da área foi classificado com Terra Roxa Estruturada e Latossolo Roxo, com alta quantidade de argila. Nessa área diversos fatores de produção já foram determinados e aqui utilizados para comparar com a resistência elétrica do solo. Para tanto, o mapa de pontos obtido com a metodologia foi interpolado em quadriculas de 10x10 m pelo método do inverso da distância ao quadrado e foram traçadas correlações pelo método de Sperman entre a resistência elétrica do solo e fatores de produção.

RESULTADOS e DISCUSSÃO

Devido a limitações técnicas, foram coletados dados de 4,7 ha dentro da área, de tamanho total de 17 ha. A Figura 4 mostra o mapa de pontos obtidos com a passagem do sensor sobre a área. Foram coletados 3075 pontos, resultando numa densidade de aproximadamente 650 pontos/ha. A Figura 5 mostra o mapa de resistência elétrica do solo interpolado e a Figura 6 mostra o mapa de produtividade de milho, colhido na safra de 2000, imediatamente antes da coleta de informações de resistência elétrica do solo.

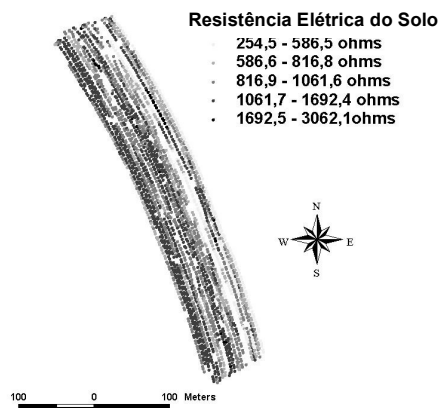


Figura 4 – Mapa de pontos de resistência elétrica.

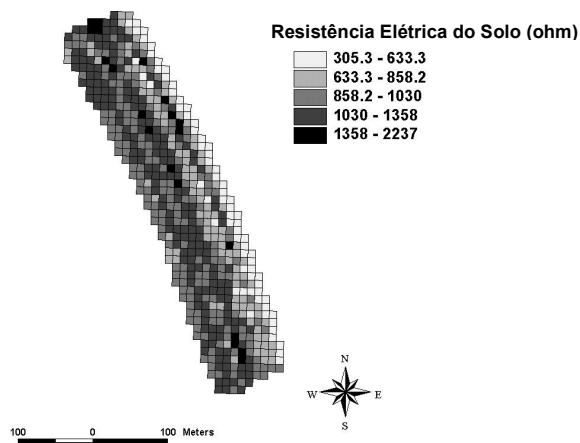


Figura 5 – Mapa de resistência elétrica do solo interpolado.

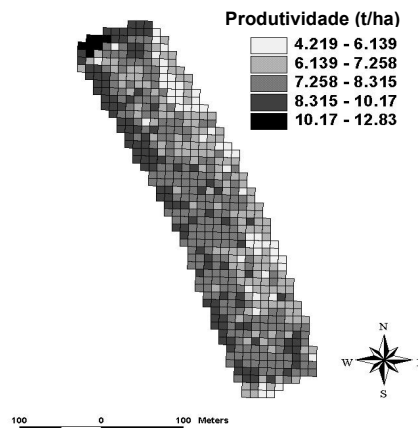


Figura 6 – Mapa interpolado de produtividade de milho.

A Tabela 2 mostra as principais correlações obtidas entre os fatores de produção e a resistência elétrica do solo. Os teores de argila apresentaram correlação positiva com a resistência do solo, enquanto que os teores de areia apresentaram correlação negativa, contrariando resultados observados na literatura. A provável causa da divergência é a natureza da argila, de mineralogia composta por óxidos de ferro, de baixa atividade, resultando que, quanto maior a quantidade de argila, maior a resistência elétrica do solo. Por outro lado, a correlação entre CTC e resistência elétrica foi negativa, indicando que quanto maior a CTC, menor a resistência elétrica, confirmando resultados observados na literatura e indicando que a CTC do solo pode ser independente da quantidade de argila.

Tabela 2 – Resumo das principais correlações de Spearman encontradas entre os fatores de produção levantados nas áreas piloto e a resistência elétrica do solo e a probabilidade p.

Parâmetro	Correlação Spearman	Probabilidade p
-----------	---------------------	-----------------

Argila (%)	0,325	0,0000
Cobre (mg/kg)	0,310	0,0000
P resina (mg/kg)	0,301	0,0000
Produtividade (t/ha)	0,283	0,0000
Manganês (mg/kg)	0,256	0,0000
Índice de Cone a 10 cm (Mpa)	0,222	0,0000
CTC (cmol de carga/dm ³)	-0,210	0,0000
Areia (%)	-0,290	0,0000
Magnésio (cmol de carga/dm ³)	-0,302	0,0000

CONCLUSÕES:

A metodologia utilizada na construção do sensor foi capaz de medir a resistência elétrica do solo. Os dados obtidos mostram tendências claras quando comparados com outros fatores monitorados na área. Novos esforços devem ser concentrados na superação de obstáculos para tornar a tecnologia aplicável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ACOCK B., PACHEPSKY, YA. Holes in precision farming: mechanistic crop models. Precision Agriculture '97. Ed. J. Stafford, p.397-404. 1997.
- CAMINHA JUNIOR, I. C., SERAPHIM, O.J., GABRIEL, L.R.A. Caracterização de uma área agrícola irrigada com efluente agro-industrial, através de análises químicas e da resistividade do solo. Energia na Agricultura, Botucatu, v.13, n.4, p.40-54. 2000.
- CLARK, R.L., CHEN, F., KISSEL, D.E., ADKINS, W. Mapping soil hardpans with the penetrometer and electrical conductivity. Proc. of the 5th International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis. Ed. P.C. Robert. CD-Rom. 2000.
- DOOLITTLE, J.A., SUDDUTH, K.A., KITCHEN, N.R., INDORANTE, S.J. Estimating depths to claypans using electromagnetic induction methods. J. Soil and Water Cons. 49: 572-75. 1994.
- HARTSOCK, N. J., MUELLER, T. G., THOMAS, G. W., BARNHISEL, R. I., WELLS, K. L., SHEARER, S.A. Soil electrical conductivity variability. Proc. of the 5th International Conference on Precision Agriculture. Ed. P.C. Robert. CD-Rom. 2000.
- JAYNES, D.B. Improved soil mapping using electromagnetic induction surveys. Proc. of the 3rd International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis. Ed. P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson. p. 169-179. 1996.
- JOHANNSEN, C. J.; CARTER, P. G.; ERICKSON, B. J.; MORRIS, D. K.; WILLIS, P.R. A cornucopia of agricultural applications. Space Imaging, Thornton, Jan/Fev, p. 22-23, 2000.
- KACHANOSKI, R.G., GREGORICH, E.G. , VAN WESENBECK, I.J. Estimating spatial variations of soil water content using noncontacting electromagnetic inductive methods. Can. J. Soil Sci, Toronto. 68:715-722. 1988.
- McBRIDE, R.A., GORDON, A.M., SHRIVE, S.C. Estimating forest soil quality from terrain measurements of apparent electrical conductivity. Soil Sci. Soc. Amer. J. 54:290-293. 1990.

MOLIN, J.P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. IN: Agricultura de Precisão, Borém, A., Giúdice, M. P., Queiroz, D. M., Mantovani, E. C., Ferreira, L. R., Valle, F. X. R. e Gomide, R. L. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

MOLIN, J.P., COUTO, H.T.Z., GIMENEZ, L.M., PAULETTI, V., MOLIN, R., VIEIRA, S.R. Regression and correlation analysis of grid soil data versus cell spatial data. Aprovado para apresentação na 3rd European Conference on Precision Agriculture – ECPA em Montpellier, 18- 20.07.2001.

RADITE, P.A.S.; NAMIKAVA, K.; IIDA, M. Draft reduction on tillage tools by electro-osmotic lubrication.. *in*: Journal of the Japanese society of agricultura machinery, v.59, n.3, p. 47-55, 1997.

SUDDUTH, K.A., KITCHEN, N.R., DRUMMOND, S.T. Soil conductivity sensing on claypan soils: comparison of electromagnetic induction and direct methods. Proc. of the 4th International Conference on Precision Agriculture. Minneapolis. Ed. P.C. Robert. P. 979-990. 1998.

WILLIAMS, B.G., HOEY, D. The use of electromagnetic induction to detect the spatial variability of the salt and clay content of soils. Aust. J. Soil Res. 25:21-27. 1987.