

## AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO.

**Sérgio Oliveira Pinto De Queiroz<sup>1</sup>; Roberto Testezlaf<sup>2</sup>; Edson Eiji Matsura<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, Universidade do Estado da Bahia, Juazeiro, BA,*

<sup>2</sup>*Departamento de Água e Solo, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP*

### 1 RESUMO

A salinização de solos representa um dos graves problemas da agricultura irrigada. Sob condições de ambiente protegido, a irrigação é essencial e a fertirrigação um agente facilitador do manejo da irrigação e fertilização. Todavia o seu uso intensivo no processo produtivo, acresce ao potencial de salinização da água, aquele inerente aos fertilizantes. O presente trabalho objetivou avaliar diferentes métodos para determinação da condutividade elétrica do solo, quando comparados ao método do extrato de saturação. Em laboratório foram avaliados os equipamentos Sensor Sigma Probe EC1 da Delta-T e extrator de solução à vácuo. Os equipamentos foram utilizados em três solos com diferentes texturas e sob cinco níveis de salinidade: 0, 2, 4, 8 e 12 dS. m<sup>-1</sup> a 25° C. Os resultados obtidos foram avaliados por análise de regressão e variância. Dentre os equipamentos avaliados na fase laboratorial [U1], o sigma Probe EC1 apresentou o melhor resultado na determinação da condutividade elétrica do solo, quando comparado ao extrato de saturação, em solos não salinos e salinos, todavia os resultados obtidos não permitem recomendar o uso dos mesmos para determinação da condutividade elétrica em solos salinos.

**UNITERMOS:** condutividade elétrica, fertirrigação.

### QUEIROZ, S. O. P. de; TESTEZLAF, R.; MATSURA E. E. EVALUATION OF EQUIPMENTS FOR SOIL ELECTRIC CONDUCTIVITY DETERMINATION

### 2 ABSTRACT

Soil salinization represents one of the most serious problems of irrigated agriculture. Under controlled environmental conditions, irrigation is essential and the use of fertigation becomes a facilitator agent for the irrigation and fertilization management. However, the intensive use of fertigation in this type of productive process increases water salinization potential, which is inherent to the fertilizers. The objective of the present study was to evaluate different methods to determine electric conductivity of the soil, when compared to the saturation extract. Sigma Probe EC1, manufactured by Delta-T, and vacuum solution manufactured extractors were evaluate under laboratory conditions. This equipment was used in three different texture soils, under five levels of salinity: 0, 2, 4, 8 and 12 dS. m<sup>-1</sup> at 25° C. The obtained results were evaluated by regression analysis. Among the used equipment in laboratory, the sigma Probe EC1 presented better results in soil electrical conductivity determination, when compared to saturation extract, in saline and non-saline soils; however the obtained results show that its use is not recommended to determine electric conductivity in saline soils.

**KEYWORDS:** electric conductivity, fertigation.

### 3 INTRODUÇÃO

O processo de salinização pode ter causas naturais (salinização primária) ou pode ter origem no manejo inadequado do solo e da água pela ação do homem (salinização secundária).

Em ambientes protegidos, o impedimento à entrada de água da chuva no interior das instalações, torna a irrigação imprescindível. Por ser um agente facilitador das operações de irrigação e adubação, além de apresentar grande eficiência de aplicação, a fertirrigação é utilizada frequentemente nesses ambientes. Todavia, o seu uso intensivo no processo produtivo, acresce ao potencial de salinização da água, aquele inerente aos fertilizantes.

Portanto, o manejo inadequado dos fatores de produção, aliado ao desconhecimento da fisiologia dos vegetais, em ambientes protegidos, pode gerar um acúmulo de sais no solo ou, ainda, nas fontes de abastecimento de água, levando ao comprometimento de recursos naturais. Com a expansão da área cultivada em ambiente protegido no Brasil e, em especial no Estado de São Paulo, a ocorrência desse fenômeno tende a agravar-se, podendo afetar a produção das culturas, ao longo do tempo, por adicionar os efeitos deletérios do baixo potencial osmótico e efeito específico de íons ao ambiente de crescimento das culturas. Assim, o monitoramento do teor de água e da condutividade elétrica do solo, torna-se imprescindível sob tais condições de produção.

O método laboratorial do extrato de saturação é considerado o método de referência para determinação da condutividade elétrica do solo, mas é subjetivo, demanda tempo e exige infraestrutura laboratorial, limitando o número de determinações. Desta forma, faz-se necessário o desenvolvimento de metodologias que realizem determinações com maior rapidez e com boa correlação com o método padrão, permitindo ao produtor uma tomada de decisão imediata. Em condições de campo destacam-se as metodologias de extração de solução a vácuo, além daquelas baseadas na utilização de sensores de indução eletromagnética e que utilizam princípios de TDR, capazes de medir a condutividade elétrica total de um volume de solo ( $CE_{vs}$ ) e/ou a condutividade elétrica da solução do solo ( $CE_{ss}$ ).

Este trabalho teve como objetivo avaliar diferentes métodos de determinação da condutividade elétrica do solo, comparando-os com o método do extrato de saturação.

### 4 MATERIAL E MÉTODOS

As determinações foram realizadas em três solos com diferentes texturas, sendo que cada solo foi acondicionado em 25 recipientes plásticos do tipo “jardineira”, com dimensões de (14 cm de altura x 13 cm de largura x 42 cm de comprimento), sob condições de densidade do solo próximas àquelas do seu estado original (através da determinação de massa e volume contidos nos recipientes). Esses recipientes foram divididos em lotes separados de cinco amostras que foram levados, cada um, à saturação em soluções com salinidade de 0, 2, 4, 8, e 12 dS. m<sup>-1</sup>, utilizando NaCl (p.a.), e deixados secar ao ar.

Os solos avaliados foram caracterizados fisicamente através da análise granulométrica e densidade global conforme Embrapa (1997), sendo suas curvas características obtidas pelo método da placa de pressão e membrana de Richards (1947), realizadas no Laboratório de Solos da FEAGRI/UNICAMP. Amostras de solo foram coletadas e enviadas ao Laboratório de Análise de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas e analisadas conforme metodologia descrita por Raij & Quaggio (1983). Todas as determinações foram realizadas antes do início do experimento, de modo a reproduzir condições semelhantes, nos recipientes plásticos.

A condutividade elétrica em cada recipiente foi determinada pelos seguintes métodos:

- a) Sensor de salinidade: equipamento marca Delta-T, modelo Sigma Probe tipo EC1, monitorando a umidade diariamente para realização de três leituras nos solos, com data logger (doravante denominado como Sigma Probe). Apresenta frequência de trabalho em 30 MHz, sendo recomendado para solos com salinidade em até 10 dS.m<sup>-1</sup> a 25° C.

b) Extratores de solução a vácuo, inseridos horizontalmente a meia altura do recipiente (7 cm), sendo as leituras realizadas em concomitância com os demais equipamentos.

No método de extração de solução do solo, esta foi coletada em recipientes, sob tensão próxima a 70 kPa, logo após as leituras com os equipamentos eletromagnéticos, sendo então obtido o valor de condutividade elétrica, utilizando-se condutivímetro digital de bancada.

Os resultados obtidos pelos métodos avaliados foram comparados com aqueles obtidos através da metodologia do extrato de saturação descrita pela Embrapa (1997).

De maneira a associar as leituras obtidas através dos equipamentos testados com aqueles obtidos através do extrato de saturação, sob qualquer valor de umidade dos solos, utilizou-se a seguinte relação:

$$CE_{es} * \varepsilon = CE_{cc} * \theta_{cc} = CE_{pm} * \theta_{pm} = CE(\theta) * \theta = \text{constante} \quad (1)$$

Sendo:

**CE** - condutividade elétrica, sendo os subscritos es, cc e pm correspondentes a saturação, capacidade de campo e ponto de murchamento, em  $dS.m^{-1}$  ;

**$\varepsilon$**  - porosidade total do solo, em %;

**$\theta$**  - umidade volumétrica, em %.

Monitorou-se a umidade do solo em cada recipiente, em intervalos de um dia, mediante a pesagem dos vasos, utilizando-se balança eletrônica Filizola, modelo MF-100, com precisão de 20 g, obtendo-se a umidade em peso seco. Esta, por sua vez, foi correlacionada à umidade volumétrica ( $\theta$ ) através da densidade do solo. Os resultados obtidos foram avaliados por análise de regressão e variância.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises químicas e físicas para os solos avaliados no experimento apresentaram os seguintes resultados:

**Tabela 1:** Análise química dos os solos avaliados.

Textura	M. O. (g/dm <sup>3</sup> )	PH (CaCl <sub>2</sub> )	P (mg/dm <sup>3</sup> )	K (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Ca (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Mg (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	H+Al (mmol/dm <sup>3</sup> )	S. B. (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	CTC (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	V %
Arenosa	11	5,8	6	0,7	10	6	11	16,7	27,5	61
Média	24	55,9	84	3,5	34	10	15	47,5	62,3	76
Argilosa	40	5,2	90	3,2	38	11	42	52,2	94,5	55

**Tabela 2:** Análise granulométrica e densidade determinada para os solos avaliados.

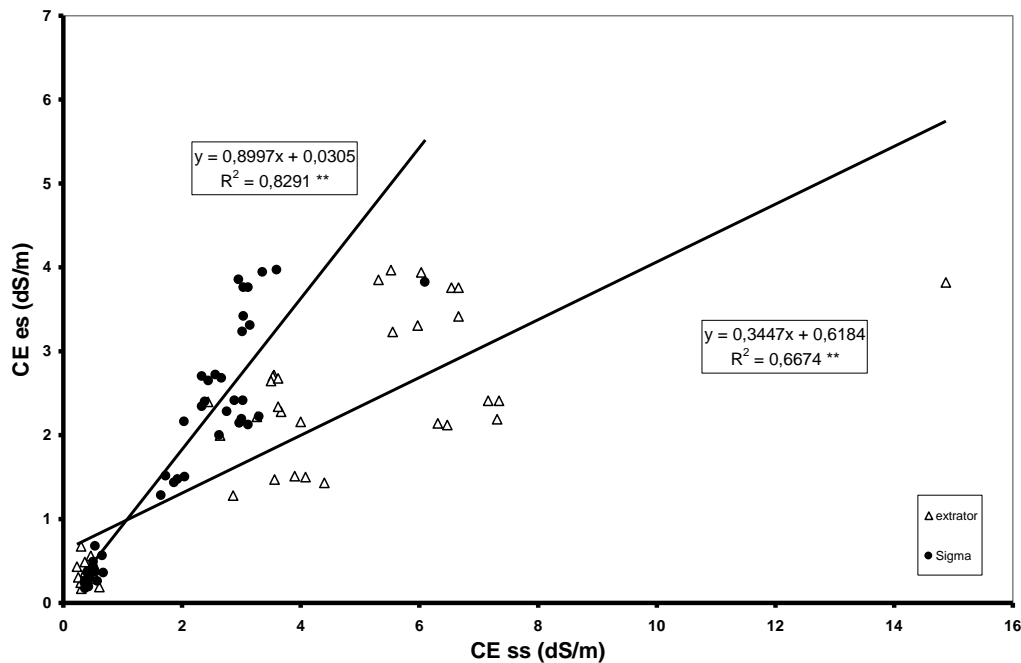
Textura	% de argila	% de Silte	% de areia	Densidade (Kg.dm <sup>-3</sup> )
Arenosa	7	6	87	1,41
Média	29	15	56	1,21
Argilosa	62	15	23	1,125

Os dados da análise granulométrica relativos aos solos, apresentados na Tabela 2, permitem classifica-los como areia-franca, franco-argiloso e muito argiloso, respectivamente (CAMARGO et al., 1986).

Como o presente trabalho visa avaliar a possibilidade de utilização de metodologias de campo para estimar a salinidade do solo, de modo a verificar a ocorrência de salinização do solo, foi necessário verificar a correlação das metodologias para valores de condutividade elétrica inferiores a  $4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ , valor limite entre um solo não salino e salino (USSLS, 1980), desdobrando os resultados para as duas condições, permitindo a adoção de medidas práticas que visem atenuar ou reverter, com segurança, o desenvolvimento de tal fenômeno.

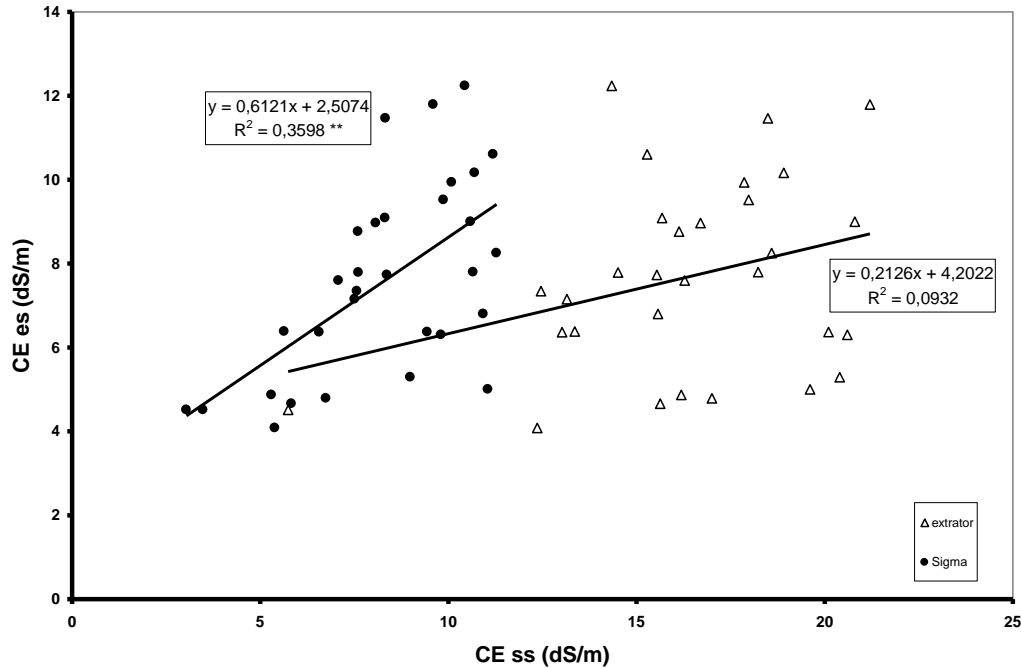
A condutividade elétrica do solo foi determinada utilizando-se dois diferentes equipamentos e comparada ao extrato de saturação ( $\text{CE}_{\text{es}}$ ), método de referência, descrito em Embrapa (1997).

As Figuras 1 e 2 apresentam os resultados obtidos pelas duas metodologias, quando comparados àqueles obtidos através do extrato de saturação para condições de solo arenoso e arenoso salino, respectivamente. Para condições de solo arenoso, as duas metodologias apresentam correlação estatisticamente significativa com os resultados obtidos através do extrato de saturação, o que foi verificado por Silva (2002) para extratores de solução sob condições semelhantes. Solos arenosos apresentam baixa capacidade de retenção de água e íons, assim maiores quantidades dos sais aplicados aos solos arenosos permanecem em solução, elevando a salinidade do solo, se comparados a solos com maiores teores de argila em sua composição.

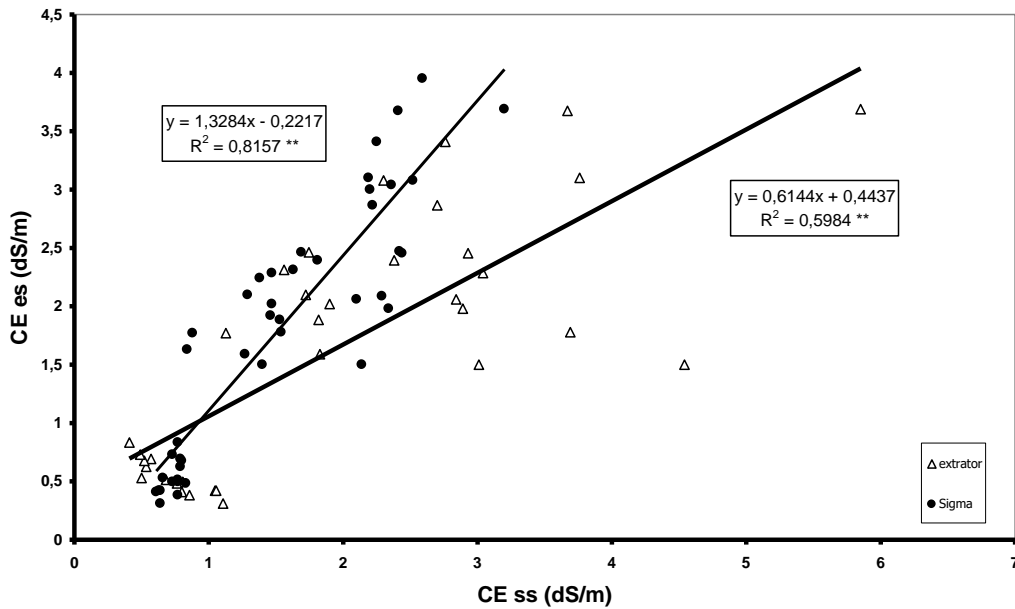


**Figura 1.** Condutividade elétrica obtida através do Sigma Probe e extratores de solução comparada à obtida através do extrato de saturação para um solo arenoso não salino. (\*\*) regressão significativa a 1 %.

Dessa maneira, nos solos arenosos salinos a condutividade elétrica atinge valores mais elevados numa determinada faixa de umidade e para tais condições, as duas metodologias se mostraram pouco eficientes para determinar a salinidade do solo. Deve-se ressaltar que o fabricante do equipamento Sigma Probe não recomenda seu uso para condutividades elétricas do solo superiores a  $10 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$  a  $25^\circ \text{C}$ .

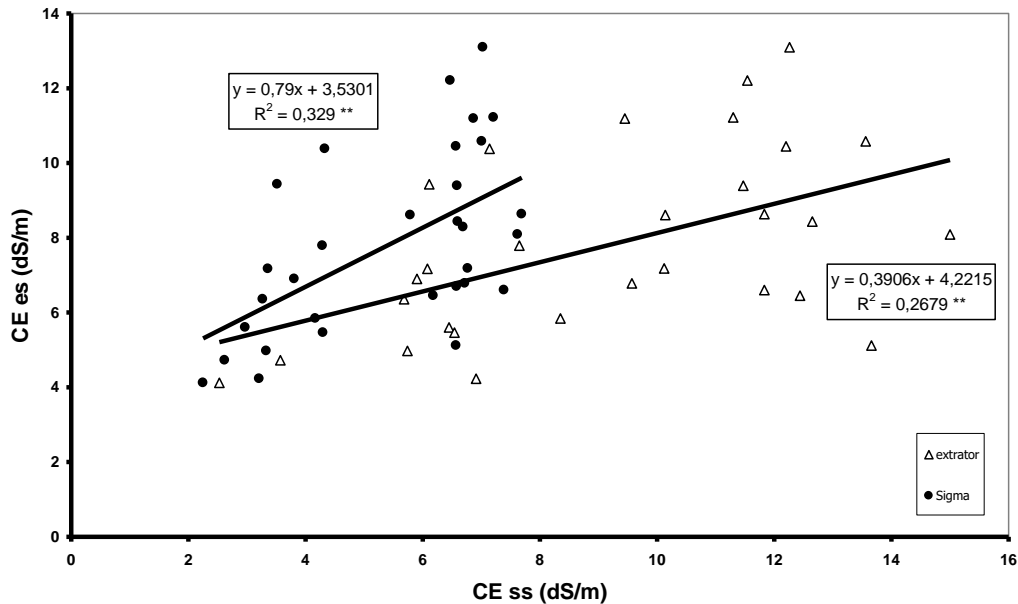


**Figura 2.** Condutividade elétrica obtida através do Sigma Probe e extratores de solução comparada a obtida através do extrato de saturação para um solo arenoso salino. (\*\*) Regressão significativa a 1 %.



**Figura 3.** Condutividade elétrica obtida através do Sigma Probe e extratores de solução comparada à obtida através do extrato de saturação para um solo de textura média. (\*\*) Regressão significativa a 1%.

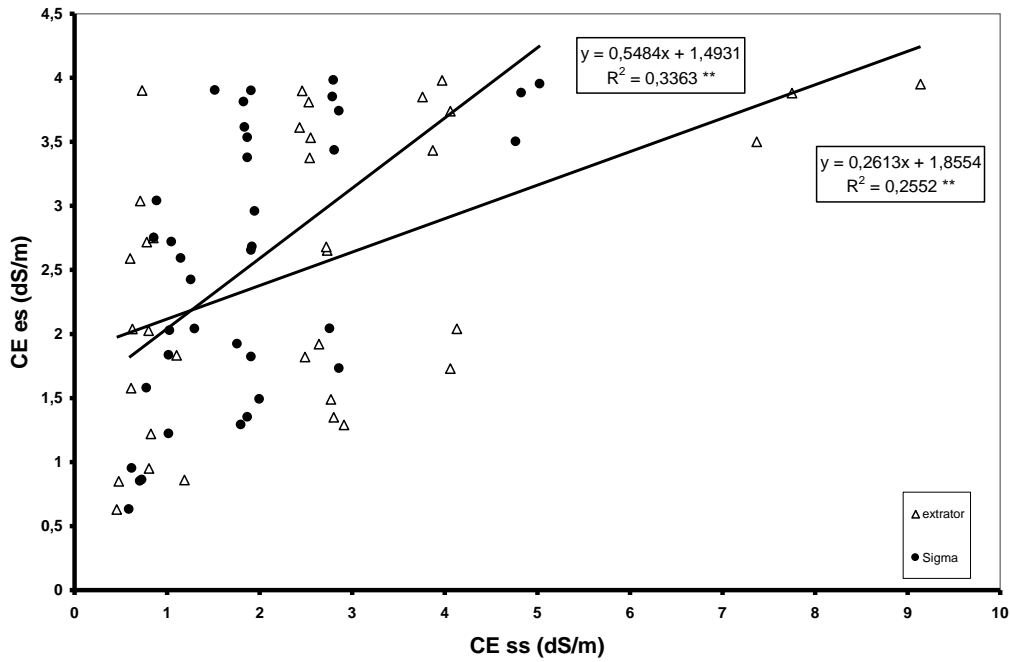
Nas Figuras 3 e 4 pode-se observar a correlação obtida pelos dois equipamentos com o método padrão, sob condições de solo com textura média não salino e salino, respectivamente.



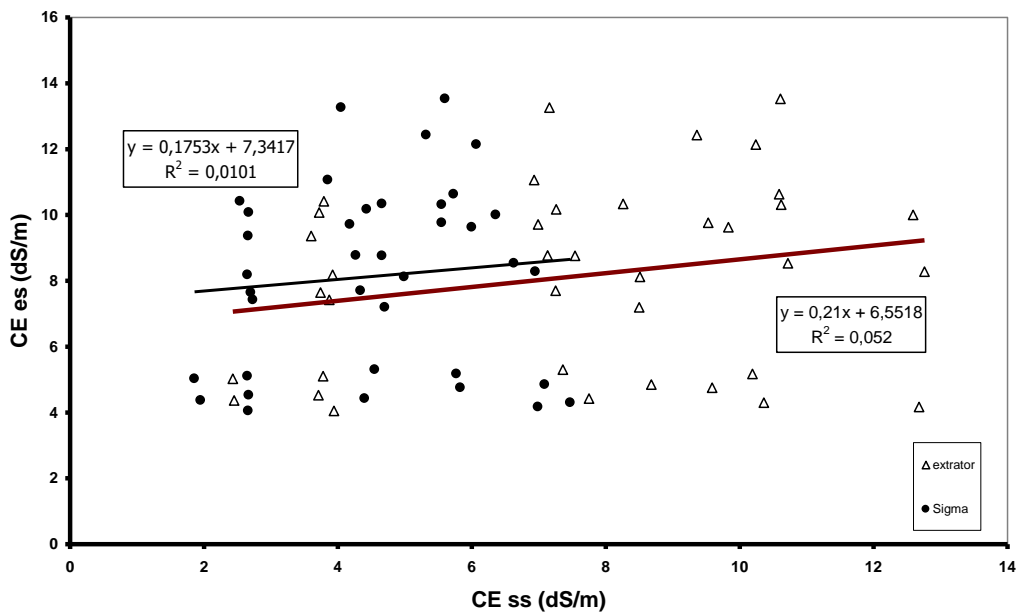
**Figura 4.** Condutividade elétrica obtida através do Sigma Probe e extratores de solução comparada a obtida através do extrato de saturação para um solo de textura média salino. (\*\*) Regressão significativa a 1%.

Observa-se, mais uma vez, um coeficiente de determinação mais elevado para os resultados obtidos pelo Sigma Probe, especialmente sob condições de solo não salino, apresentando correlação estatisticamente significativa com os resultados obtidos através da metodologia do extrato de saturação, além de reforçar a perda de correlação das leituras realizadas pelos equipamentos com a elevação da salinidade do solo, redução no teor de água e elevação do teor de argila do solo. O teor de óxido de ferro no solo pode interferir nos resultados obtidos pelo equipamento eletromagnético (TOMMASELLI, 2001), contudo as condições experimentais não nos permitem afirmar com segurança a extensão ou mesmo a existência de tal influência.

As Figuras 5 e 6 apresentam os resultados obtidos pela utilização dos dois equipamentos, quando comparados aos resultados obtidos através da metodologia do extrato de saturação, em condições de solo argiloso não salino e salino, respectivamente. Em solo argiloso não salino verifica-se um baixo coeficiente de determinação para a regressão entre os resultados obtidos pelas duas metodologias e aqueles obtidos pelo extrato de saturação, especialmente uma elevada dispersão para os extratores. Deve-se considerar que os teores de umidade sob os quais as leituras com os equipamentos avaliados foram obtidas, foram, na maioria das vezes, menores que aquele utilizado no extrato de saturação, sendo os demais resultados no extrato ajustados através da equação que correlaciona porosidade total, densidade do solo e teor de umidade para cada condição de umidade. Ocorre, assim, no extrato de saturação, a neutralização do efeito adsorptivo das partículas do solo, especialmente importantes em solos com elevado teor de argila, enquanto sob as condições de leitura dos dois equipamentos, a adsorção foi cada vez mais representativa com a redução no teor de umidade do solo, levando a uma subestimativa dos valores de condutividade elétrica.



**Figura 5.** Condutividade elétrica obtida através do Sigma Probe e extratores de solução comparada à obtida através do extrato de saturação para um solo argiloso não salino. (\*\*) Regressão



significativa a 1%.

**Figura 6.** Condutividade elétrica obtida através do Sigma Probe e extratores de solução comparada a obtida através do extrato de saturação para um solo argiloso salino.

Sob condições de salinidade, observada na figura 6, associa-se ao aspecto considerado para solos argilosos, a interação entre textura e salinidade. Os resultados obtidos pelos extratores de solução do solo foram, também, muito afetados, possivelmente sob menores teores de água no solo, quando uma parcela mais representativa dos sais fica adsorvida, em função da mineralogia e geometria das partículas do solo. Segundo Jones et al. (2002), em meios porosos com elevada superfície específica, como solos argilosos, ocorre adsorção de uma fração substancial da fase líquida, resultando em reduzida constante dielétrica aparente, quando comparada a materiais de pequena superfície específica, como solos arenosos, sob níveis similares de teor de água. Para Or & Jones (2001), a aplicação da reflectometria de microondas é limitada a solos com moderada a baixa salinidade (OR & JONES, 2001), a menos que medidas sejam adotadas para preservar a reflexão que ocorre no final da onda eletromagnética. Para o equipamento Sigma Probe, a faixa de leitura da condutividade elétrica se restringe a valores entre 0,5 e 10 dS.m<sup>-1</sup>, não sendo recomendados para solos com elevados teores de ferro, além de vertissolos (SOWACS, 2004).

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente experimento permitem concluir que:

- a) A elevação da salinidade do solo, bem como do teor de argila do solo, afeta negativamente a correlação das leituras de condutividade elétrica, obtidas pelos equipamentos avaliados, quando comparadas àquelas realizadas pelo extrato de saturação.
- b) Em solos sob condições não salino e salino, as leituras obtidas pelo equipamento Sigma Probe apresentaram melhor correlação nas leituras de condutividade laboratorial [U1], que os demais equipamentos, quando comparadas aos resultados obtidos pelo extrato de saturação.
- c) Os resultados obtidos não permitem indicar o uso dos equipamentos avaliados para condições de solos salinos.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMARGO, O. A. et al. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, Campinas, n. 106, p. 1-97, 1986.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos e análise de solo**, 2ª edição, Rio de Janeiro, 1997. 221 p.

JONES, R. W.; PIKE, L. M.; YOURMAN, L. F. Salinity influences cucumber growth and yield. **Journal of American Society Horticultural Science**, 114(4): 547-51, 1989.

OR, D., JONES, S. B. Extending TDR measurement range in saline soils using frequency domain methods. In: Edson Eiji Matsura, Aplicações da técnica de TDR na agricultura, Campinas, Feagri/UNICAMP, 2001. 178 p.

RAIJ, B. van, QUAGGIO, J. A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, Campinas, n. 81, p. 1-31, 1983.

RICHARDS, L. A. Pressure – membrane apparatus construction and use. **Agronomic Engineer**, n. 28, p. 451-454, 1947.



SILVA, E. F. F. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade na cultura do pimentão utilizando extratores de solução do solo**, 2002. 136 f., Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SOWACS. **Theoretical basis of the Sigmprobe pore water conductivity meter**. Disponível em [www.sowacs.com](http://www.sowacs.com). acesso em 05/04/2004.

TOMMASELLI, J. T. G. Critérios para calibração de sondas de TDR. In: Edson Eiji Matsura, Aplicações da técnica de TDR na agricultura, Campinas, Feagri/UNICAMP, 2001, 178 p.

UNITED STATE SALINITY LABORATORY STAFF. **Suelos Salinos y sodicos – diagnostico y rehabilitación**. Ed Limusa, 3<sup>a</sup> reimpressão, México, 1980.