

DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO E CALIBRAÇÃO PARA UTILIZAÇÃO EM CAMBISSOLO

L. E. V. de Arruda¹; S. L. A. Levien²; J. F. de Medeiros³

RESUMO: Objetivou-se com este trabalho apresentar o desenvolvimento de um sensor de condutividade elétrica (CE) do solo e sua respectiva calibração para uso em um Cambissolo da região do Oeste Potiguar. Inicialmente foi realizado um teste de comportamento dos sensores em solução salina com diferentes concentrações (1; 2; 3 e 4 dS m⁻¹), apresentando resultados com bom ajuste e baixos valores de desvio padrão. Utilizou-se para calibração dos sensores amostras de solo coletado no município de Upanema, RN, na camada de 0 a 0,30 m, classificado como Cambissolo. A calibração dos sensores foi realizada em laboratório na Universidade Federal Rural do semiárido, onde foram preparadas pastas saturadas com diferentes concentrações de solução salina (0,5; 1; 2; 3 e 4 dS m⁻¹) e umidades (0,150; 0,175; 0,200 e 0,225 g g⁻¹). Foram ajustadas três equações correspondentes à conversão da leitura dos sensores em condutividade elétrica do estrato saturado do solo. Os dados foram avaliados através da análise do coeficiente de determinação (R²). As equações propostas obtiveram ajustes com R² acima de 0,96 fornecendo resultados satisfatórios, sendo recomendada, para uso, a equação que utiliza uma única variável independente (valor da CE lido pelo sensor).

PALAVRAS-CHAVE: Salinidade, movimento de sais no solo, resistividade elétrica.

DEVELOPMENT OF AN ELECTRIC CONDUCTIVITY SOIL SENSOR AND ITS CALIBRATION IN INCEPTISOL

ABSTRACT: The objective of this work was to present the development of an electric conductivity (EC) sensor of the soil and its respective calibration for use in a Inceptisol of the West Potiguar region, Rio Grande do Norte, Brazil. Initially a behavior test of the sensors in solution with different concentrations (1; 2; 3 and 4 dS m⁻¹) was performed, presenting results with good fit and low values of standard deviation. For the calibration of the sensors samples of soil collected in the municipality of Upanema, RN, Brazil, in the 0 to 0.30 m layer, classified

¹ Engenheiro Agrícola e Ambiental, Doutorando, PPGMSA/UFERSA, Mossoró/RN. Email: luizengeaa@hotmail.com

² Engenheiro Agrícola, D.Sc. UFERSA, Mossoró/RN. Email: sergiolevien@ufersa.edu.br

³ Engenheiro Agrônomo, D.Sc. UFERSA, Mossoró/RN. Email: jfmedeir@ufersa.edu.br

as Inceptisol. The calibration of the sensors was carried out in a laboratory of the Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), where saturated pulps with different concentrations of saline solution (0.5; 1; 2; 3 and 4 dS m⁻¹) and moisture (0.150; 0.175; 0.200 and 0.225 g g⁻¹). Three equations corresponding to the conversion of the reading of the sensors into electrical conductivity of the saturated soil layer were adjusted. The data were evaluated through the analysis of the coefficient of determination (R²). The proposed equations obtained adjustments with R² above 0.96 giving satisfactory results, and the equation using a single independent variable is recommended for use (EC value read by the sensor).

KEY WORDS: Salinity, soil salt movement, electrical resistivity.

INTRODUÇÃO

O uso intensivo de insumos agrícolas para aumentar a produção juntamente com o uso de água com elevada concentração de sais tem proporcionado o aumento de áreas salinizadas e improdutivas. Por isso, a determinação da condutividade elétrica do estrato saturado (CE_{es}) do solo é muito importante, além de ser utilizada para monitorar a concentração de sais na zona radicular das plantas, auxilia no manejo adequado da irrigação.

As águas utilizadas na agricultura irrigada da região semiárida do Rio Grande do Norte são oriundas, principalmente, do aquífero Jandaíra e apresentam elevadas concentrações de sais, podendo ser superior a 2000 mg L⁻¹ (Medeiros, 1992; Oliveira & Maia, 1998). Logo, o fornecimento dessa água para as plantas pode causar: redução do potencial osmótico do meio (solo); menor disponibilidade de água as plantas; e acúmulo de íons específicos, tornando o meio tóxico (Macêdo et al., 2007; Medeiros et al., 2008).

Além das águas com elevadas concentrações de sais os solos das regiões áridas e semiáridas, mostram uma pré-disposição à concentração de sais, devido à evaporação superior a precipitação, drenagem deficiente e o incremento do sódio trocável na superfície e/ou subsuperfície (Barros, 2004).

Em virtude disso, há a necessidade de determinação e conseqüente monitoramento da condutividade elétrica do solo, que pode ser medida diretamente neste, por contato, onde se aplica uma corrente elétrica em eletrodos isolados; indiretamente, sem contato com o solo, com o uso de corrente induzida por campo magnético (Molin et al., 2005), e ainda através de análise em laboratório.

No mercado existem alguns equipamentos portáteis para determinação da CE do solo. A

utilização de sensores, que podem obter conjuntos de dados diretamente no campo oferecem diversas vantagens como: baixo custo, maior eficiência e mais resultados em menor tempo, quando comparado aos métodos tradicionais de medição que envolve coleta de amostras de solo e análise (Sudduth et al., 2005).

Porém, sensores comerciais usados para determinação da CE diretamente no campo possuem um elevado custo inicial. Em virtude disto, notou-se a necessidade de equipamentos de baixo custo que coletassem dados em tempo real do movimento de soluto (sais) no solo, durante o processo de irrigação e redistribuição de água e sais no solo, mais especificamente na irrigação por gotejamento superficial, que é bastante utilizada na região, em condições de laboratório, buscando uma agricultura de precisão.

Objetivou-se com este trabalho apresentar o desenvolvimento de um sensor de condutividade elétrica do solo e a respectiva calibração para uso em um Cambissolo da região do Oeste Potiguar.

MATERIAL E MÉTODOS

Desenvolvimento do sensor

Os sensores de condutividade elétrica foram desenvolvidos para serem utilizados diretamente no solo, em condições de laboratório (ambiente controlado), dispensando a realização de análises de laboratório que são trabalhosas e onerosas. Os mesmos foram confeccionados e testados durante o primeiro semestre de 2016.

O princípio de funcionamento dos sensores baseia-se na determinação da condutividade elétrica obtida a partir da resistividade elétrica de um meio (neste caso, o solo). O sistema segue o princípio dos dois eletrodos ou duas pontas, e sua configuração consiste em utilizar dois eletrodos afastados por uma distância e aplicar uma corrente elétrica, a fim de medir a alteração no potencial elétrico, na região em que a corrente elétrica transita.

No caso deste sensor foi utilizado um condutivímetro de bancada para medição das leituras, as quais, através das equações propostas, podem ser convertidas em CE_{es} do solo.

Os sensores de condutividade elétrica foram confeccionados manualmente (artesanalmente). Devido a isto não foi possível obter os mesmos padrões dos componentes envolvidos. Logo, necessitou-se, além da calibração, a avaliação de todos os sensores, cujo objetivo era determinar uma equação geral, para todos os sensores, ou uma equação para cada sensor, caso houvesse grandes diferenças nos valores das leituras.

Os sensores são compostos por: haste e anel de inox (para evitar oxidação), tubo de

acrílico, cabo de duas vias e uma camada de cola epóxi, para evitar contato entre a haste e o anel (Figura 1).

Calibração do sensor

Inicialmente foi realizado um teste de comportamento dos sensores em solução. Foram preparadas quatro soluções com cloreto de potássio nas concentrações 0,5; 1; 2; 3 e 4 dS m⁻¹ e realizadas leituras com os sensores e com o leitor de CE padrão.

Utilizou-se para calibração dos sensores amostras de um solo coletado no município de Upanema, Rio Grande do Norte, na camada de 0 a 0,30 m, classificado como Cambissolo, com classificação textural franco-argiloarenosa, de acordo com Santos et al. (2013). O solo foi destorroado e passado em peneira de 2 mm.

A calibração dos sensores foi realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal Rural do semiárido (UFERSA). Foram preparadas pastas saturadas (solo mais solução) com diferentes concentrações de solução salina (0,5; 1; 2; 3 e 4 dS m⁻¹) e umidades (0,150; 0,175; 0,200 e 0,225 g g⁻¹), totalizando 20 pontos amostrais, para se ter um intervalo considerável de pontos (diferentes umidades e salinidades) e com isso reduzir possíveis erros.

As pastas saturadas foram colocadas em copos plásticos, a fim de evitar possíveis interferências por materiais condutivos, e em seguida foi inserido um sensor em cada recipiente, representados por S1; S2; S3; S4; S5; S6; S7; S8; S9; S10; S11; S12; S13; S14; S15 e S16. Os recipientes foram cobertos com papel alumínio (com intuito de evitar evaporação) e deixados em repouso (para estabilização das trocas iônicas na pasta) por dois dias e posterior realização das leituras (Figura 2).

Para realização das leituras foi utilizado um condutímetro de bancada modelo Digimed CD-21, e um cabo adaptado para plugar aos fios do sensor e assim obter a leitura no aparelho (Figura 2B).

Foram realizadas leituras nos sensores, em intervalos de 2 h, até a estabilização dos valores (quatro leituras) e, ao final, foram coletadas duas amostras de cada pasta, para determinação da umidade gravimétrica e uma amostra para determinação da CEes, a qual foi utilizada na comparação com os dados observados. De posse dos resultados foram ajustadas três equações correspondentes à conversão da leitura dos sensores em CEes do solo.

Os três modelos de equações ajustadas foram:

$$CE_{est} = a \cdot CE_{lida} \cdot \theta + b \quad (1)$$

$$CE_{est} = c \cdot CE_{lida} + d \cdot \theta + e \quad (2)$$

$$CE_{est} = f \cdot CE_{lida} + g \quad (3)$$

onde, CE_{est} é a CE_{es} estimada pelas equações; em $dS\ m^{-1}$; CE_{lida} é a condutividade elétrica lida com o sensor; em $dS\ m^{-1}$; θ é a umidade do solo base massa, em $M\ M^{-1}$; e “a”, “b”, “c”, “d”, “e”, “f” e “g” são parâmetros empíricos de ajuste das equações.

Não foi considerada a temperatura, na calibração dos sensores de CE, pois o ambiente onde foram utilizados era controlado (temperatura constante). Porém, em utilização em ambientes sem controle (no campo), onde existe uma grande variação da temperatura do solo, a calibração tem que levar em consideração este fator juntamente com as características do solo.

Os dados foram avaliados através da análise do índice de determinação (R^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados na Figura 3 os resultados do teste de comportamento dos diferentes sensores em solução. Os valores mostram-se bem ajustados com média e desvio padrão de 1,81 e 0,0696; 3,49 e 0,1350; 5,13 e 0,1962; e 6,40 e 0,2441, respectivamente, para as soluções de 1; 2; 3 e 4 $dS\ m^{-1}$; ou seja, os sensores responderam as diferentes soluções, e as variações entre eles foram baixas.

As equações ajustadas, para calibração em pasta saturada, foram:

$$CE_{est} = 0,0755 \cdot CE_{lida} \cdot \theta + 0,3011 \quad (4)$$

$$CE_{est} = 1,6354 \cdot CE_{lida} + 0,0389 \cdot \theta - 0,5473 \quad (5)$$

$$CE_{est} = 2,1123 \cdot CE_{lida} - 0,1360 \quad (6)$$

As diferentes equações propostas proporcionaram ajustes muito similares com índice de determinação (R^2) iguais a 0,9716; 0,9645 e 0,9644, respectivamente, para as equações (4), (5) e (6).

Na Figura 4 é mostrada a correlação entre os valores obtidos pelas equações propostas (CE_{est}) e os valores obtidos pelo leitor de condutividade elétrica padrão (CE_{es}), mostrando o bom desempenho das equações testadas.

Apesar da pequena diferença entre os modelos testados e, mesmo a equação (4) proporcionando um melhor ajuste, para a faixa de umidade do solo estudada (0,150 a 0,225 $g\ g^{-1}$), recomenda-se utilizar a equação (6), por requerer uma única variável independente, a qual basta apenas realizar a leitura direta da CE com os sensores para obter a CE_{es} do solo, não necessitando dos dados de umidade para as devidas correções.

CONCLUSÕES

Houve um bom ajuste entre as leituras realizadas pelos sensores para diferentes soluções.

As equações de calibração do sensor de condutividade elétrica do solo, para o Cambissolo, forneceram resultados satisfatórios.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Projeto CNPq/Casadinho-Procad processo 552317/2011-0, para a execução deste trabalho. Agradecem, também, a CAPES a concessão da bolsa de Doutorado do primeiro autor.

REFERÊNCIAS

BARROS, M.F.C.; FONTES, M.P.F.; ALVAREZ, V.H.; RUIZ, H.A. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.8, p.59-64, 2004.

MACÊDO, L.S.; SOUSA, M.R.; MORRILL, W.B.B. Drenagem para controle da salinidade. Tecnologia & Ciência Agropecuária, v.1, p.69-71, 2007.

MEDEIROS, J.F. Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos estados do RN, PB e CE. Campina Grande: UFPB, 1992. 173p. Dissertação de Mestrado. 1992.

MEDEIROS, J.F.; DUARTE, S.R.; FERNANDES, P.D.; DIAS, N.S.; GHEYI, H.R. Crescimento e acúmulo de N, P e K pelo meloeiro irrigado com água salina. Horticultura Brasileira, v.26, p.452-457, 2008.

MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.M.; PAULETTI, V.; SCHMIDHALTER, U.; HAMMER, J. Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção. Engenharia Agrícola, v.25, p.420-426, 2005.

OLIVEIRA, M.; MAIA, C.E. Qualidade físico-química da água para a irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.2, p.17-21, 1998.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SUDDUTH, K.A; KITCHEN, N.R.; WIEBOLD, W.J.; BATCHELOR, W.D.; BOLLERO, G.A.; BULLOCK, D.G.; CLAY, D.E.; PALM, H.L.; PIERCE, F.J.; SCHULER, R.T.; THELEN, K.D. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. Computers and Electronics in Agriculture, v.46, p.263-283, 2005.

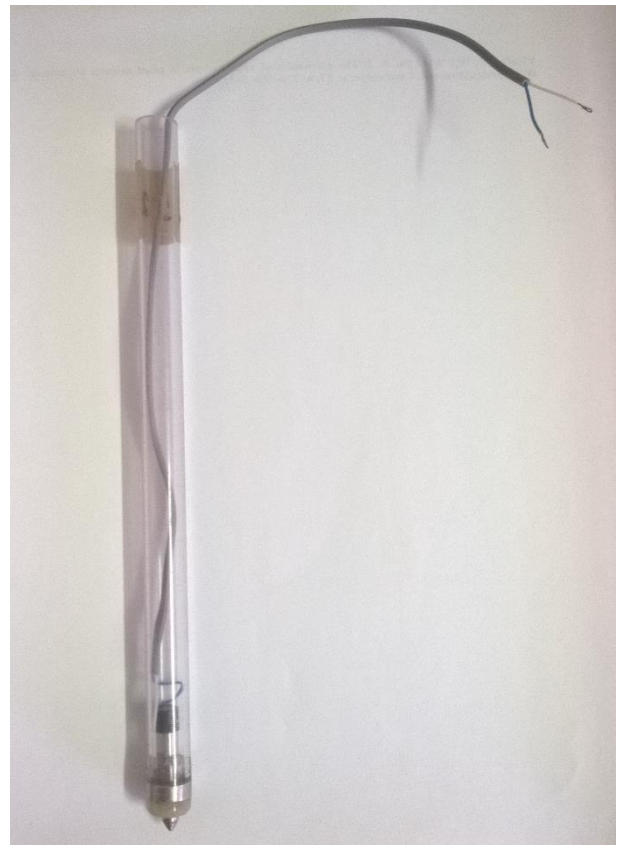
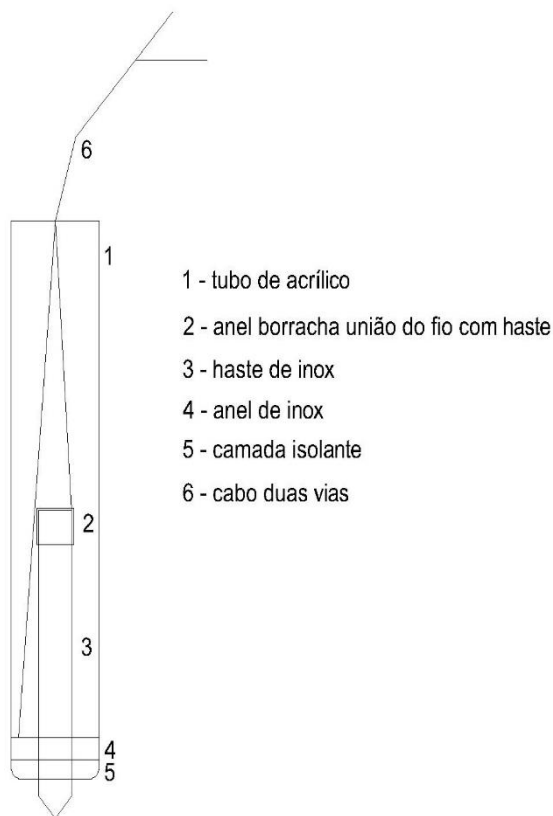


Figura 1. Detalhes do sensor: (A) descrição dos componentes do sensor; (B) sensor pronto



Figura 2. Calibração dos sensores: (A) detalhe da disposição dos sensores nas diferentes pastas; (B) realização da leitura com auxílio do condutivímetro de bancada

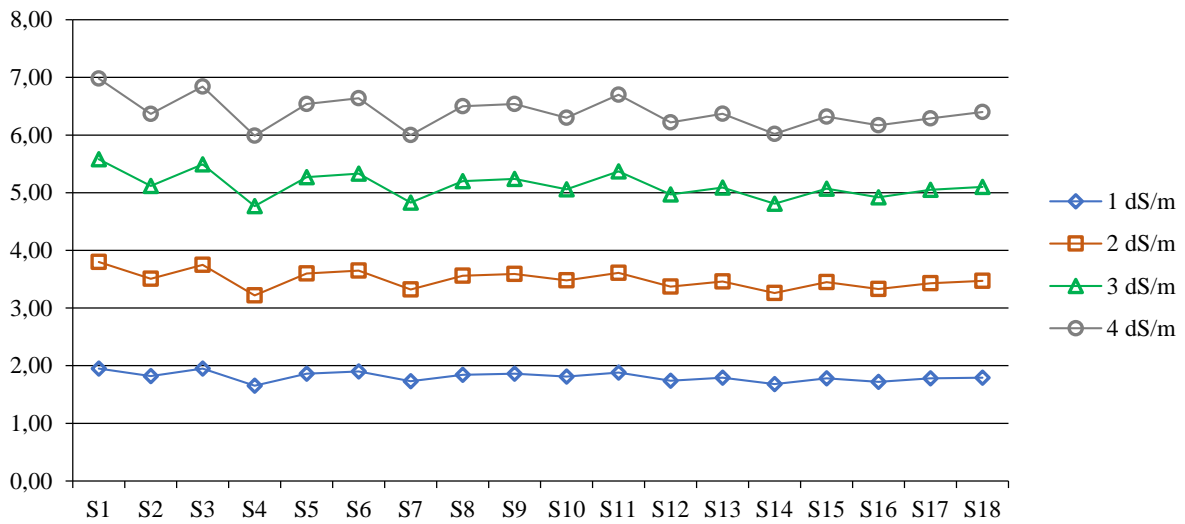


Figura 3. Dados do teste de comportamento dos sensores em solução

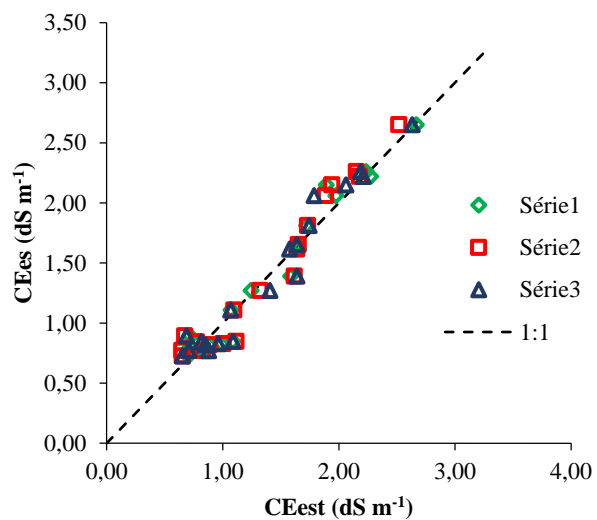


Figura 4. Comparação entre os modelos testados, considerando a CE_{est} (CE_{es} estimada pelas equações) e CE_{es} medida (CE do extrato de saturação)