

## **PERFORMANCE DE MODELO DE ESTIMAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO DO SOLO SOB FERTIRRIGAÇÃO**

Torquato Martins de Andrade Neto<sup>1</sup>; Eugênio Ferreira Coelho<sup>2</sup> Richardson Araujo Boasorte<sup>3</sup>

**RESUMO:** O objetivo desse estudo foi avaliar modelos matemáticos de estimativa da condutividade elétrica da solução do solo com base em dados de umidade do solo e condutividade elétrica aparente do solo em condições de campo. Os modelos foram testados em experimento com quatro concentrações de cloreto de potássio na saída dos emissores (1,0; 2,5; 4,0 e 5,5 g L<sup>-1</sup>). Para tanto, foram instaladas sondas de TDR em duas profundidades (0-0,20 e 0,20-0,40 m). Foram monitorados: a umidade, condutividade elétrica da solução do solo e condutividade elétrica aparente do solo ao longo do tempo. O modelo pode ser utilizado para estimar a condutividade elétrica da solução do solo como função de CEa e umidade para a maioria das concentrações estudadas. Apesar do teste de Mayer apresentar significância (P<0,05) na avaliação do modelo, os valores medidos e estimados pelo modelo apresentaram um desvio entre 5% a 20%.

**Palavras-chave:** CEw , Gotejamento, parâmetros químicos.

## **PERFORMANCE OF MODELS FOR ESTIMATING OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF SOIL SOLUTION IN FERTIRRIGATION**

**ABSTRACT:** The objective of this study is to evaluate mathematical models for estimating electrical conductivity of soil solution based on soil water content and bulk electrical conductivity field data. Model were tested under different treatments consisted of four potassium chloride concentrations in the irrigation water (1.0; 2.5; 4.0 e 5.5 g L<sup>-1</sup>). TDR probes were installed at two depths (0-0.20 and 0.20-0.40 m). Were monitored soil electrical conductivity, soil solution electrical conductivity in the soil solution with time. The model may be used for estimating of electrical conductivity a function of ECw and soil water content

<sup>1</sup> Prof. Dsc IF Sertão Pernambucano Campus Floresta, Floresta – PE, CEP 56400-000, Fone: (087) 3877-2797, torquato.neto@ifsertao-pe.edu.br; <sup>2</sup>Pesquisador Embrapa Mandioca e Fruticultura, Departamento de Irrigação, Cruz das Almas–BA; <sup>3</sup>Estudante de Agronomia, Universidade Federal do Recôncavo Baiano, UFRB, Cruz das Almas, BA.

for the majority of studied situations. The deviation between estimated and measured values of EC<sub>w</sub> during the studied period, considering all experiments remained between 5 to 20%.

**Key words:** EC<sub>w</sub>, Drip, chemical parameters.

## INTRODUÇÃO

Atualmente existe um crescimento na utilização da fertirrigação nos polos de agricultura irrigada em todo mundo, isso em grande parte devido às vantagens intrínsecas da técnica no que se refere ao uso mais eficiente dos fertilizantes aplicados em diversas culturas, na evidente redução da mão de obra e na melhor conservação dos recursos edáficos.

A coleta de solução do solo por meio de extratores de solução permite maior número de repetições no mesmo local ou próximo, porém necessitam de regiões umedecidas a potenciais mais elevados (SANTOS 2008). O monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo com o extrator de solução permite a repetição de leituras no mesmo local de amostragem, mas contempla apenas as regiões com a água retida a potenciais mais altos.

No caso da utilização da TDR na estimativa e no monitoramento da distribuição de da condutividade elétrica, tem-se a necessidade de calibrar alguns modelos matemáticos que, ao serem conjugados uns com outros, possibilitam também a estimativa da concentração iônica. Diversos autores sugerem alguns modelos que fazem relação entre a condutividade elétrica da solução do solo com os valores de teor de água e condutividade elétrica aparente do solo (VOGELER et al. 1996; RHOADES et al. 1989). Dentre ele o modelo de Vogeler et al., (1996) apresentam melhores relações entre CE<sub>w</sub>, CE<sub>a</sub> e umidade (SANTANA et al., (2007). (2004). Esses modelos podem ser calibrados para cada tipo de solo e nutriente aplicado. Desta forma, é possível, com o uso da TDR, se ter conhecimento da CE<sub>w</sub>, uma vez que são facilmente obtidas pela TDR as variáveis CE<sub>a</sub> e  $\theta$ .

O objetivo desse estudo foi avaliar modelos matemáticos de estimativa da condutividade elétrica da solução do solo (CE<sub>w</sub>) com base em dados de umidade do solo ( $\theta$ ), condutividade elétrica aparente do solo (CE<sub>a</sub>).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi conduzido na Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas Bahia, cujo clima é classificado como úmido a subúmido. O solo predominante é o Latossolo Amarelo Distrófico. A pesquisa foi realizada em um experimento com a cultura da bananeira, c.v. “FHIA”, cultivada em fileiras simples, no espaçamento 3,0 x 2,5 m, em que todas as atividades referentes à adubação e tratamentos culturais foram realizadas conforme Silva et al. (2008). Os tratamentos consistiram no uso de quatro concentrações de cloreto de potássio na saída dos emissores (1,0; 2,5; 4,0 e 5,5 g L<sup>-1</sup>) aplicadas por meio de sistema de gotejamento, durante o primeiro ciclo da cultura.

Utilizou-se do modelo de Vogeler et al., (1996) para estimativa de CE<sub>w</sub> como função de CE<sub>a</sub> e umidade. Amostras de solução do solo para avaliação da condutividade elétrica da solução do solo foram retiradas ao mesmo tempo em que foram feitas leituras de umidade do solo e condutividade elétrica aparente com uso de um reflectômetro tipo TDR. O modelo matemático foi ajustado aos dados por meio da minimização da soma dos quadrados dos desvios entre os valores estimados e observados. Os indicadores estatísticos MEN (média dos erros), RMSE (raiz quadrada da média dos quadrados dos erros) e o R<sup>2</sup> (coeficiente de determinação) foram utilizados na avaliação dos modelos abordados (GOMES et al. 2002).

Os valores medidos e estimados de CE<sub>w</sub> foram comparados com base no ajustamento do modelo de regressão linear simples, sendo as estimativas dos parâmetros da regressão testados pela hipótese de nulidade (MAYER et al. 1994).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O modelo de Vogeler et al., (1996) foi ajustado aos dados de CE<sub>w</sub> como função de CE<sub>a</sub> e umidade ( $\theta$ ) para todas as concentrações estudadas, explicando 90%, 75%, 70% e 50% das variações em CE<sub>w</sub> devidas as variações de CE<sub>a</sub> e  $\theta$ , para as concentrações de nitrato de potássio na água de irrigação de 1,0; 2,5; 4,0 e 5,5 g.L<sup>-1</sup>, respectivamente, aplicadas via gotejamento (Tabela 1). À medida que se aumentou a concentração da solução de injeção ocorreu uma diminuição no coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), indicando influência da concentração na funcionalidade do modelo. Os resultados encontrados aproximaram-se dos obtidos por Santana et al., (2007), que, em pesquisa com diferentes modelos matemáticos, observou que o modelo de Vogeler et al., (1996) explicou 79% das variações em CE<sub>w</sub> devidas as variações de CE<sub>a</sub> e  $\theta$  em um solos de textura franca e franco-arenosa.

A avaliação da hipótese de nulidade (MAYER et al., 1994), considerando os valores estimados e medidos de condutividade elétrica da solução do solo, mostrou que, em termos gerais os tratamentos com 1,0; 2,5; 4,0 e 5,5 g L<sup>-1</sup>, apresentaram respectivamente as seguintes probabilidades de rejeição de Ho: P=0,0501; 0,0454; 0,0331 e 0,0192. Sendo assim, exceto para concentração de 1,0 g L<sup>-1</sup>, houve rejeição de Ho para  $\alpha = 0,05$ . Dessa forma, apesar de o modelo explicar 50 a 90% das variações da condutividade elétrica da solução do solo (CEw) em função da condutividade elétrica aparente (CEa) e umidade ( $\theta$ ), para as concentrações de fertilizante na água de irrigação de 1,0; 2,5; 4,0 e 5,5 g L<sup>-1</sup>, o modelo pode não estimar adequadamente os valores reais de CEw em comparação com os medidos.

A utilização de um modelo geral para a estimativa de CEw, com os dados de todas as concentrações sendo analisados conjuntamente, resulta na diminuição da precisão do modelo de Vogeler et al., (1996) ( $R^2=0,45$ ). Isso mostra que o modelo foi sensível às concentrações da solução de fertilizantes na água de irrigação. Na avaliação dos valores medidos e estimados, observa-se que houve significância pelo teste de Mayer et al., (1994) para o modelo geral, o que resulta em valores estimados de CEw com maiores desvios em relação aos medidos na solução do solo. Ainda na tabela 1, pode-se observar que a utilização de um modelo geral, para todos os dados, envolvendo todas as concentrações resultou em diminuição no ajuste do modelo ( $R^2=0,45$ ); isso demonstra a sensibilidade do modelo de Vogeler et al., (1996) nas diferentes concentrações aplicadas.

Tabela 1. Parâmetros resultantes dos ajustes do modelo de Vogeler et al. (1996) aos dados de CEw como função de CEa,  $\theta$  para as diferentes concentrações de potássio na forma de KNO<sub>3</sub>.

KNO <sub>3</sub> (g.L <sup>-1</sup> )	Parâmetros				Coeficientes	
	a	b	c	d	R <sup>2</sup>	P*
1,0	6,36	-3,00	20,65	11,09	0,90	0,0501 <sup>ns</sup>
2,5	3,73	-2,30	15,10	9,08	0,75	0,0454 <sup>s</sup>
4,0	1,0.10 <sup>5</sup>	4,1.10 <sup>6</sup>	1,8.10 <sup>6</sup>	5,3.10 <sup>6</sup>	0,70	0,0331 <sup>s</sup>
5,5	4,98	6,1.10 <sup>6</sup>	1,2.10 <sup>6</sup>	4,2.10 <sup>6</sup>	0,50	0,0192 <sup>s</sup>
Modelo Geral CEw	248,94	5,64	57,08	193,90	0,45	0,0342 <sup>s</sup>

R<sup>2</sup>= Refere-se ao coeficiente de determinação encontrado da relação CEw medido x CEw estimado pelo modelo VOGELER et al., (1996). P\*= Significativo a 5%.

Os resultados obtidos, ficaram abaixo dos encontrados por Silva et al., (2005) cujas estimativas de CEw com a técnica da reflectometria no domínio o tempo (TDR), obteve ajustes de 93,80%. O comportamento do modelo de estimativa de CEw como função de CEa,

$\theta$  foi concordante com Santos et al., (2005), em experimento em um Latossolo Amarelo em Cruz das Almas-Bahia, em que observou que o modelo empírico de Vogeler et al., (1996) foi o que melhor estimou CEw em função da CEa e  $\theta$  em comparação com outros modelos, com  $R^2$  de 0,86. Os resultados obtidos para as concentrações de 1,0; 2,5 e 4,0 g L<sup>-1</sup> aproximaram dos obtidos por Santana et al., (2006) e obtiveram  $R^2$  de 0,85. O modelo apresentou bom ajuste aos dados de condutividade elétrica da solução do solo para a concentração de 1,0 g L<sup>-1</sup>, demonstrando que em baixas concentrações o modelo de Vogeler et al., (1996) apresenta melhores resultados, visto que, quando se aumentou a concentração dos tratamentos ocorreram maiores dispersões nos dados, afetando significativamente a proximidades entre os valores medidos e estimados ( $P < 0,05$ ). A queda no coeficiente de determinação do modelo para maiores valores da concentração da solução de injeção pode ser devido ao aumento nos teores de potássio na solução, pois quando se aumenta a concentração da solução injetora, aumentando por consequência a condutividade elétrica da água de irrigação e do solo gerando uma sensibilidade na estimativa de CEw do modelo para esses valores. Isso foi verificado para concentrações acima de 0,50 g L<sup>-1</sup> de potássio na solução do solo, conforme observado por Santana et al., (2007).

## CONCLUSÕES

Foi observado que a medida que aumentou a concentração do fertilizante o modelo matemático de estimativa de CEw perdeu em precisão.

A utilização de um modelo geral para a estimativa de CEw, com os dados de todas as concentrações sendo analisados conjuntamente, resulta na diminuição da precisão do modelo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOMES, E. N.; ESCOBEDO, J. F.; FRISINA, V. A.; ANGELA, R. Modelos de estimativa da par global e difusa em função da radiação de ondas curtas e da transmissividade atmosférica. In Anais... XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, 2002.

MAYER, D. G.; STUART, M. A.; SWAIN, A. J. Regression of real word data on model output: An appropriate overall test of validity. Agriculture System. V.45, p.93-104, 1994.

RHOADES, J. D.; MANTEGHI, N. A.; SHOUSE, P. J.; ALVES, W. J. Soil electrical conductivity and salinity: new formulations and calibrations. *Soil Science Society of America Journal*, p: 433-439, 1989.

SANTANA, G. S.; COELHO, E. F.; SILVA, T. M.; RAMOS, M. M. Relação entre potássio na solução do solo, umidade e condutividade elétrica aparente do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.11, n.2, p.142-151, 2007. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG.

SANTANA, G. S.; COELHO, E. F.; SILVA, T. S. M. Estimativa da condutividade elétrica da solução do solo a partir do teor de água e da condutividade elétrica aparente do solo. *Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.26, n.3, p.672-685, 2006.

SANTOS, R. M. Uso da Reflectometria no Domínio do Tempo para Avaliar a Distribuição de Nitrato e Fósforo em Colunas de Solos Fertirrigados. Viçosa, UFV, 2008. 73p. (Dissertação de mestrado).

SANTOS, M. R.; COELHO, E. F.; SILVA, A. J. P.; COELHO FILHO, M. A. Modelos para monitoramento da distribuição de íons no solo sob fertirrigação com fósforo usando TDR. In: *Anais... XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola 25 a 29 de julho de 2005 - Canoas – RS*.

SILVA, J.T.A. da; BORGES, A.L. Solo, nutrição mineral e adubação da bananeira. *Informe Agropecuário*, v.29, p.25-37, 2008.

SILVA, A. J. P.; COELHO, E. F.; SANTOS, M. R. Avaliação de sondas de TDR para medidas da condutividade elétrica aparente e da umidade. In: *xxxiv Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2005, Canoas. Resumos, Canoas: SBEA, 2005*.

VOGELER, I.; CLOTHIER, B.E.; GREEN, S.R.; SCOTTER, D.R.; TILLMAN, R.W. Characterizing water and solute movement by TDR and disk permeametry. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.60, n.1, p.5-12, 1996.