



# XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas  
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

## AVALIAÇÃO DE MODELOS DE ESTIMATIVA DE POTÁSSIO

**Torquato Martins de Andrade Neto<sup>(1)</sup>; Eugênio Ferreira Coelho<sup>(2)</sup>; Flávio da Silva Costa<sup>(3)</sup>;  
Edvaldo Bispo Santana Junior<sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup> Doutorando; Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Embrapa Mandioca e Fruticultura, Rua Embrapa s/n, CEP 44380-000, E-mail: [andradeneto@hotmail.com](mailto:andradeneto@hotmail.com) <sup>(2)</sup>; Pesquisador, Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, CEP 44380-000 <sup>(3)</sup>; Aluno de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade do Recôncavo da Bahia, CEP 44380-000, Cruz das Almas, – Bahia.

**Resumo** – O objetivo desse estudo foi avaliar um modelo de estimativa da concentração de potássio com base no modelo linear de VOGELER que considera três constantes a partir de dados coletados em campo. O trabalho foi conduzido na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada no município de Cruz das Almas. O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo Álico. O experimento foi realizado em um solo cultivado com bananeira, espaçadas de 3,0 m entre fileiras duplas, 2,0 m entre fileiras simples e 2,5 m entre plantas. Os tratamentos consistiram na utilização de quatro dosagens de potássio (D1 = 0, D2 = 400, D3 = 800 e D4 = 1200 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>). O modelo tradicional de VOGELER com quatro parâmetros apresentou maior eficiência na estimativa de CE<sub>w</sub> em função da umidade CE<sub>a</sub>, além de resultar em melhor estimativa de potássio com o uso da técnica de TDR, em condições de campo.

**Palavras-Chave:** TDR, Potássio, Condutividade elétrica.

### INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada, principalmente em zonas secas, tem exercido pressão sobre o meio ambiente de forma preocupante, sendo assim, pode resultar em degradação do solo, com perdas de produtividade. A solução do solo nas áreas irrigadas apresenta, de forma geral, um nível de salinidade superior ao da água de irrigação, devido aos sais solúveis existentes no solo, principalmente na camada superior (BEN-HUR et al., 1998).

Para tanto, é necessário lançar mão de práticas e técnicas de manejo de irrigação com o intuito de evitar o aumento gradual dos íons Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> e Cl, entre outros, na solução do solo, os quais estão diretamente relacionados com a salinidade, sodicidade do solo e seus efeitos tóxicos nas plantas. Porém, a adoção dessas práticas ainda ocorre em pequenas escalas nas áreas irrigadas das regiões secas do globo, quer pela quantidade limitada de água disponível para a agricultura, pela sua baixa qualidade, pelos aspectos econômicos ou pelo nível de conscientização dos produtores (FERRER-ALEGRE & STOCKLE, 1999).

Uma técnica que tem sido utilizada para a avaliação do movimento de solutos no solo é a reflectometria no domínio do tempo-TDR (BEJAT et al., 2000; MMOLAWA & Or, 2000), que permite o monitoramento de íons em tempo real, de forma contínua e precisa, mantendo-se a estrutura do solo. A utilização da TDR pode, ao mesmo tempo, determinar o teor de água e a condutividade elétrica aparente do solo (CE<sub>a</sub>), o que permite a realização de estimativas da concentração de um dado nutriente aplicado (C<sub>i</sub>). Isto se torna possível pelo fato da existência de uma relação entre a condutividade elétrica da solução do solo com teor de água e condutividade elétrica do solo. Além do mais, existe também, relação entre condutividade elétrica da solução do solo e concentração do nutriente. Sendo assim, possível calibrar modelos que relacionam CE<sub>w</sub> com CE<sub>a</sub> e  $\theta$  e, modelos que relacionam CE<sub>s</sub> e C<sub>i</sub>, estes modelos podem ser conjugados, resultando num modelo único que relaciona C<sub>i</sub> com CE<sub>s</sub> e  $\theta$ .

As alterações da constituição iônica do solo, dependendo da magnitude das mesmas, podem reduzir a disponibilidade hídrica para as culturas, pelas alterações físico-química do solo. Nesse sentido, existe uma importância crucial em se conhecer a concentração dos íons na solução do solo para o desenvolvimento das culturas e a utilização de modelos de estimativa de íons torna-se ferramenta importante.

O objetivo desse estudo foi avaliar um modelo de estimativa da concentração de potássio com base nos modelos lineares de VOGELER que considera três e quatro constantes a partir de dados coletados em campo.

### MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada no município de Cruz das Almas – BA (12°48' S; 39°06' W; 225 metros). O clima da região é classificado como úmido a sub-úmido, com uma pluviosidade média anual de 1.143 mm (D'ANGIOLELLA et al., 1998).

O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo Álico com textura média (EMBRAPA, 1999), com densidade de 1,5 kg dm<sup>-3</sup> e umidade correspondente a capacidade de campo e ao ponto de murcha permanente de 0,26 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e 0,22 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, respectivamente. A análise química do solo evidenciou para as profundidades 0,3 e 0,7

m respectivamente, as seguintes características: pH = 5,9 – 4,6; P = 2,0 – 1,7 (mg dm<sup>-3</sup>) e V (%) = 53 – 29; e expresso em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, K = 0,24 – 0,21; Ca = 1,5 – 0,8; Mg = 1,2 – 0,6; Ca + Mg = 2,7 – 1,4; Al = 0,0 – 0,9; Na = 0,28 – 0,12; H+Al = 2,86 – 4,29; S = 3,29 – 1,73 e CTC = 6,15 – 6,02.

A coleta de dados para ajuste do modelo matemático foi feita em um experimento com bananeira, espaçadas de 3,0 m entre fileiras duplas, 2,0 m entre fileiras simples e 2,5 m entre plantas. Os tratamentos do experimento consistiram na utilização de quatro dosagens de potássio (D1 = 0, D2 = 400, D3 = 800 e D4 = 1200 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>), sendo utilizado o Nitrato de Potássio (KNO<sub>3</sub>) como fonte de nitrogênio e de Potássio, e a Uréia (CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) como suplemento do nitrogênio, seguindo recomendações de BORGES et al., (2000).

Foram coletadas amostras de solução do solo durante o ciclo da cultura, com uso de extratores de solução que foram instalados radialmente ao microaspersor a 0,30 m da planta às profundidades de 0,20 e 0,40 m. Nessas mesmas posições foram instaladas sondas de TDR construídas conforme SILVA et al., (2005). Foram feitas leituras de CEa, umidade e amostragens de solução do solo simultaneamente ao longo do ciclo da cultura. As amostras de solução do solo foram levadas ao laboratório e submetidas a leituras de condutividade elétrica (CEw) com uso de um condutímetro de mesa e as leituras de potássio no laboratório de química do solo da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

Os dados de CEa, umidade como média dos coletados entre cada sucção e retirada de solução, os dados de CEw e do teor de potássio da solução do solo foram relacionados por meio de modelos matemáticos. Foi utilizado dois modelos matemáticos de VOGELER, (1996), Modelo 1, e a mesma equação sem a utilização do parâmetro “c” Modelo 2, para estimativa de CEw como função de CEa e umidade.

$$Cew = (c\theta - d)Cea + (a\theta - b) \quad (1)$$

$$Cew = (\theta - d)Cea + (a\theta - b) \quad (2)$$

Os dados e K<sup>+</sup> e CEw foram relacionados por uma função potencial de forma a explicitar CEw como função de K (equação 3).

$$CEw = \alpha K^\mu \quad (3)$$

A combinação das equações 1 e 3, resultou na equação 4.

$$K = \left\{ \frac{1}{\alpha} \frac{[CEa - (a\theta - b)]}{(c\theta - d)} \right\}^{\frac{1}{\mu}} \quad (4)$$

A combinação das equações 2 e 3 resultou na equação

$$K = \left\{ \frac{1}{\alpha} \frac{[CEa - (a\theta - b)]}{(\theta - d)} \right\}^{\frac{1}{\mu}} \quad (5)$$

Os dois modelos foram ajustados aos dados por meio da minimização da soma dos quadrados dos

desvios entre os valores estimados e observados. Uma vez ajustado os dois modelos aos dados, os indicativos estatísticos MEA (média dos erros) pela equação 6, RMSE (raiz quadrada da média dos quadrados dos erros), equação 7 e o R<sup>2</sup> (coeficiente de determinação) foram utilizados na avaliação dos mesmos conforme GOMES et al. (2002). Foi utilizada também a equação 7 das médias dos erros normalizados (MEN):

$$MEA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2} \quad (6)$$

$$MEN = \sum_{i=1}^n \left( \frac{K_{medido} - K_{estimado}}{K_{medido}} \right) \times 100 \quad (7)$$

Uma vez definidos os parâmetros dos modelos de estimativa de potássio (K) como função da CEw e de K como função de CEa e umidade; esses modelos foram aplicados aos dados de CEw, CEa e umidade coletados quinzenalmente ao longo do ciclo da cultura.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros dos modelos avaliados e os respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) são apresentados na Tabelas 1, referentes ao modelo de VOGELER et al, (1996) e o modelo empírico proposto pelo mesmo autor que é composto por três parâmetros.

Verificou-se que o modelo que é constituído de quatro parâmetros, obteve melhor desempenho na estimativa de CEw em função de umidade de condutividade elétrica do solo, onde o coeficiente de correlação (R<sup>2</sup>) variou de 0,28 a 0,80. O modelo empírico com três parâmetros variou de 0,47 a 0,72. Resultado discordante dos obtidos por ANDRADE NETO et al., (2010), mostra um ajuste do mesmo modelo com uma correlação acima de 0,90 para as diferentes concentrações.

O baixo desempenho dos modelos para as diferentes situações pode decorrer do fato da não ocorrência de valores de condutividade elétrica diferentes para as mesmas umidades. Visto que, esperam-se valores de condutividade elétrica crescentes à medida que se aumenta a umidade do solo. SANTOS et al., (2010), buscou uma alternativa para esse fato trabalhando numa amplitude de valores de CEs e  $\theta$  que possibilitasse a calibração do modelo em condições de laboratório. No caso de coleta de dados em condições de campo esse procedimentos fica mais complicado. Os resultados obtidos contrastam com os obtidos por SANTOS et al., (2010); SANTANA et al., (2007), que encontraram correlações mais elevadas.

Observa-se que os parâmetros (a, b, c e d) das equações, variaram à medida que se mudou gradativamente os tratamentos, isso já havia sido observado por ANDRADE NETO et al., (2010) e SANTOS et al., (2010). Demonstrando que as diferentes situações de campo refletem na impossibilidade de se ter um modelo com

parâmetros equivalentes para as diferentes situações de solo.

Os modelos avaliados apresentaram valores dos parâmetros também diferentes entre si, isso comparando dentro de cada tratamento. Fato esse que não foi observado por HEIMOVAARA et al., (2005), que na avaliação de modelo empíricos de VOGELER et al., (1996) com três e quatro parâmetros, demonstraram valores que se aproximaram.

Os valores de MEN diferiram entre si para as diferentes doses aplicadas e avaliadas pelos modelos (tabela 2). As eficiências relativas aos modelos foram baixas e variaram de 0,09 a 0,92, demonstrando que em termos gerais não tiveram sucesso em estimar o potássio através dos dados de Cea, Cew e Umidade. Exceto para as doses um e quatro no modelo de VOGELER et al., (1996), onde houve uma alta correlação e estimativa de potássio.

## CONCLUSÕES

1. O modelo tradicional de VOGELER com quatro parâmetros apresentou maior eficiência na estimativa de CEw em função da umidade CEa, além de resultar em melhor estimativa de potássio com o uso da técnica de TDR, em condições de campo.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE NETO, T. M. ; Coelho, E. F. ; SANTANA JUNIOR, E. B.;NASCIMENTO JUNIOR, A. L.. Modelos matemáticos de estimativa de potássio em função da umidade, da condutividade elétrica aparente e da solução do solo. In: XXXIX Congresso Brasileiro de engenharia agrícola, 2010, Vitória. A engenharia agrícola e o desenvolvimento das propriedades familiares, 2010.
- BEJAT, L.; PERFECT, E.; QUINSENBERRY, V.L.; COYNE, M.S.; HASZLER, G.R. Solute transport as related to soil structure in unsaturated intact soil blocks. Soil Science Society of America Journal, v.64, n.3, p.818-26, 2000.
- BEN-HUR, M.; AGRASSI, M.; KEREN, R.; ZHANG, J. Compaction, aging and raindrop-impact effects on hydraulic properties of saline and sodic vertisols. Soil Science. society of America. Journal, 12 Madison, v. 62, p. 1377-1383, 1998.
- BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G. Nutrição, calagem e adubação. In: CORDEIRO, Z. J. M. (Org.) Banana produção: aspectos técnicos. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 47-59.
- D'ANGIOLELLA, G. L. B.; CASTRO NETO, M. T.; COELHO, E. F. Tendências Climáticas para os Tabuleiros Costeiros da região de Cruz das Almas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas: Universidade Federal de Lavras, 1998. v. 1, p. 43-45.
- FERRER-ALEGRE, F.; STOCKLE, C.O. A model for assessing crop response to salinity. Irrigation Science, v. 19, p.15-23, 1999.
- GOMES, E. N.; ESCOBEDO, J. F.; FRISINA, V. A.; ANGELA. R. Modelos de estimativa da partição 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..
- MMOLAWA, K.; OR, D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. Plant and Soil, v.222, n.1-2, p.163-90, 2000.
- MUNOZ-CARPENA, R.; REGALADO, C. M.; RITTER, A.; BENED, J.; A. TDR estimation of electrical conductivity and saline solute concentration in a volcanic soil. Geoderma 124 (2005) 399-413.
- WRAITH, J. M., DAS, B. S. Monitoring soil water and ionic solute distributions using time-domain reflectometry. Soil and Tillage Research, v.47, p 145-150, 1998.
- 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/UFPG.
- SANTOS, M. R; MARTINEZ, M. A.; ZONTA, J. H. Modelos para determinação de fósforo e nitrato em neossolo quartzarênico e latossolo vermelho usando TDR. Engenharia na agricultura, viçosa - mg, V.18 N.1, JANEIRO/FEVEREIRO 2010, pg 30-39.
- SILVA, T. S. M.; COELHO, E. F.; PAZ, V. P. S.; VELLAME, L. M.; SANTANA, G. S. TEOR DE POTÁSSIO NA SOLUÇÃO DO SOLO COM USO DA TÉCNICA DE REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO. Revista Irriga, Botucatu, v. 10, n. 4, p. 393-402, novembro-dezembro, 2005.
- VOGELER, I.; CLOTHIER, B. E. Characterizing water and solute movement by TDR and disk permeametry. Soil science society of America Journal, v. 60, p. 5-12, 1996.

**Tabela 1.** Parâmetros dos modelos para estimativa de CEw em função de Cea e  $\theta$  em diferentes doses de nitrato de potássio.

	Doses	Parâmetros <sup>(3)</sup>				
		a	b	C	d	R <sup>2</sup>
<b>Modelo <sup>1</sup></b>	1	1,05E+12	1,77E+11	7,64E+10	5,78E+11	0,28
	2	248,94	5,64	57,08	193,90	0,72
	3	9528,67	1,78E+03	1075,07	3716,50	0,77
	4	-1,00E+06	5,18E+06	2,21E+06	-6,38E+06	0,80
<b>Modelo <sup>2</sup></b>	1	-1,34	-2,89	-	8,78	0,50
	2	1,68	9,39E-02	-	-0,43	0,72
	3	1,60	8,90E-02	-	-0,44	0,47
	4	-	-	-	-	-

<sup>(1)</sup> Modelo de Vogeler et al. (1996); <sup>(2)</sup> Modelo empírico novo; <sup>(3)</sup> Parâmetros dos modelos de CEw em função de CEa e  $\theta$ .

**Tabela 2.** Parâmetros estatístico resultantes do ajuste dos modelos para estimativa de K<sup>+</sup> como função de Cew, para as diferentes doses de nitrato de potássio.

Dose	Equação 4				Equação 5			
	t (desvios) MEN	RMSE (mg.L <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	EF	t (desvios) MEN	RMSE (mg.L <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	EF
1	6,94	7,87	0,94	0,92	23,83	33,27	0,32	0,14
2	17,33	19,54	0,38	0,30	22,92	19,33	0,18	0,09
3	25,10	30,33	0,27	-	-	-	-	-
4	1,60	1,33	0,88	0,79	-	-	-	-

<sup>(1)</sup> MEN= Média dos erros normalizados (Desvios). <sup>(2)</sup> RMSE – Raiz quadrada da média dos quadrados dos erros. <sup>(3)</sup> EF= Eficiência do modelo. R<sup>2</sup>= coeficiente de correlação para potássio.