



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**CURSO DE MESTRADO**

**MONITORAMENTO DE ÍONS NA SOLUÇÃO E NO EXTRATO DE  
SATURAÇÃO DO SOLO SOB APLICAÇÃO DE DIFERENTES  
CONCENTRAÇÕES DE SAIS FERTILIZANTES NA AGUA DE  
IRRIGAÇÃO EM BANANEIRA DA TERRA.**

**TORQUATO MARTINS DE ANDRADE NETO**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA**

**ABRIL - 2009**

**MONITORAMENTO DE ÍONS NA SOLUÇÃO E NO EXTRATO DE  
SATURAÇÃO DO SOLO SOB APLICAÇÃO DE DIFERENTES  
CONCENTRAÇÕES DE SAIS FERTILIZANTES NA AGUA DE  
IRRIGAÇÃO EM BANANEIRA DA TERRA.**

**TORQUATO MARTINS DE ANDRADE NETO**

Engenheiro Agrônomo  
Universidade Federal da Bahia, 2005

Dissertação submetida à Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Engenharia e Manejo da Irrigação.

**Orientador: Prof. Dr. Eugênio Ferreira Coelho**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
MESTRATO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CRUZ DAS ALMAS – BAHIA – 2009

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

A553 Andrade Neto, Torquato Martins de.  
. Monitoramento de íons na solução e no extrato de saturação do solo sob aplicação de diferentes concentrações de sais fertilizantes na água de irrigação em bananeira da terra/ Torquato Martins de Andrade Neto.- Cruz das Almas, BA, 2009.  
78 p: il.

Orientador: Eugênio Ferreira Coelho.  
Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia..

1. Fertirrigação. 2. Fertirrigação – bananeira da terra. 3. Bananeira da terra - fertirrigação I. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas. II. Título  
CDD – 634.772

## DEDICATÓRIA

Primeiramente agradeço a Deus por tudo que tem feito na minha vida e na vida de todos meus familiares.

Dedico este trabalho a algumas pessoas que foram fundamentais na minha caminhada:

Aos meus pais Everaldino Santana de Andrade (*In memorian*) e Maria Izabel Cardoso Ribeiro, meus bisavós Isaias e Onélia (*In memorian*) e minha avó Iracy pelo carinho, amor, dedicação, esforço e compreensão nos vários momentos em que estive ausente, durante a realização deste trabalho.

Aos meus irmãos Higor, Juliana, Junior e Iracy pelo eterno carinho.

A minha amada Damares pelo incentivo e confiança.

A Josefa e Luciano por todo apoio oferecido.

A todos os amigos e amigas pelo companheirismo e mútuo aprendizado.

## **AGRADECIMENTOS**

Sempre agradeço primeiramente a Deus que é o centro de todas as coisas. Um trabalho de pesquisa seja em que área for, carrega como exigências básicas dedicação integral, tempo e esforço.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia–UFRB, através do Núcleo de Engenharia de água e solo (NEAS) pela oportunidade de realização desse curso.

À EMBRAPA - Mandioca e Fruticultura pela concessão da estrutura física e humana na execução do trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa de estudos e aperfeiçoamento profissional.

Ao meu Orientador Dr. Eugenio Ferreira Coelho, pela paciência, compreensão e atenção que colocou a minha disposição durante o desenvolver do mestrado.

A todos os Professores do curso, pelos auxílios e contribuições na busca do conhecimento na área.

Aos amigos Márcio, Tacisio, José Antônio, Edvaldo e Alisson, pela disposição constante e auxílio indispensáveis na condução do experimento.

Aos colegas do NEAS, Ronaldo e Patrícia pela contribuição, e empenho que demonstraram no decorrer de suas atividades para com o grupo.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para que este trabalho consiga atingir aos objetivos propostos.

## SUMÁRIO

|   | Página    |
|---|-----------|
| <b>RESUMO</b>   |           |
| <b>ABSTRACT</b>   |           |
| <b>INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>01</b> |
| <b>Capítulo 1</b>   |           |
| EFEITO DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FERTILIZANTES DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NA SALINIDADE DA SOLUÇÃO E DO EXTRATO DE SATURAÇÃO DO SOLO CULTIVADO COM BANANEIRA DA TERRA..... | 15        |
| <b>Capítulo 2</b>   |           |
| EFEITO DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE NITRATO DE CÁLCIO E URÉIA DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NO TEOR DE NITRATO DA SOLUÇÃO DO SOLO CULTIVADO COM BANANEIRA TERRA.....             | 35        |
| <b>Capítulo 3</b>   |           |
| AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE ESTIMATIVA DE POTÁSSIO EM FUNÇÃO DA UMIDADE, DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE E DA SOLUÇÃO DO SOLO.....                 | 54        |
| <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>  | <b>78</b> |

# MONITORAMENTO DE ÍONS NA SOLUÇÃO E NO EXTRATO DE SATURAÇÃO DO SOLO SOB APLICAÇÃO DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE SAIS FERTILIZANTES NA AGUA DE IRRIGAÇÃO EM BANANEIRA DA TERRA.

Autor: Torquato Martins de Andrade Neto

Orientador: Eugênio Ferreira Coelho

**RESUMO:** A Fertirrigação possibilita total controle da quantidade de fertilizantes que devem ser aplicados ao solo em função da demanda das culturas. Essa aplicação de sais solúveis ao solo requer o monitoramento de íons para otimização dessa tecnologia. O conhecimento da composição química da solução do solo, bem como da condutividade elétrica é importante para um manejo sustentável da fertirrigação. Nesse aspecto, o monitoramento de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ) tem enorme importância, pois são dois dos nutrientes vitais ao desenvolvimento da maioria das culturas. A condutividade elétrica do solo pode ser utilizada para quantificar a quantidade de sais presente no solo. O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a concentração dos íons na solução do solo e no extrato saturação sob aplicação de diferentes concentrações de sais fertilizantes na água de irrigação em bananeira cv Terra. Foi instalado um experimento no delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial  $6 \times 2$ , seis concentrações de fertilizantes (1,0; 2,5 e 4,0  $\text{g.L}^{-1}$  de uréia e 13,0; 10,0 e 3,0  $\text{g.L}^{-1}$  de nitrato de cálcio) e dois sistemas de irrigação localizada (microaspersão e gotejamento), totalizando 12 tratamentos. A parcela experimental foi representada por 20 plantas de bananeira 'Terra', totalizando 240 plantas em fileiras simples de 3,00m x 2,50m, com área total do experimento de 0,10 ha. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste t em nível de 5% de probabilidade. Foram monitorados: a condutividade elétrica da solução do solo e do extrato de saturação, teor de nitrato e potássio na solução do solo ao longo do tempo. Houve uma tendência linear de elevação da condutividade elétrica do extrato de

saturação e da solução do solo com o aumento da concentração da uréia e do nitrato de cálcio na água de irrigação. O uso das concentrações da água de irrigação de 4,0 g.L<sup>-1</sup> e de 13,0 g.L<sup>-1</sup> resultantes da solução de injeção de uréia e de nitrato de cálcio, respectivamente resultaram em CEs e CEes superiores a 1,1 dS m<sup>-1</sup>, em pelo menos 33% do ciclo da cultura para os sistemas de gotejamento e de microaspersão na bananeira terra. À medida que se aumentou a concentração das fontes aplicadas via água de irrigação, aumentou significativamente o teor de Nitrato na solução do solo, com máximos para as concentrações de 4,0 e 13,0 g L<sup>-1</sup>, respectivamente de uréia e nitrato de cálcio. As concentrações aplicadas com uso da uréia (ate 4,0 g L<sup>-1</sup>) e com nitrato de cálcio em concentrações até 10,0 g L<sup>-1</sup> não apresentaram tendência de lixiviação de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> entre 0,20 m e 0,40 m de profundidade do solo. É viável estimar a concentração de potássio na solução do solo, a partir de dados de umidade e CEa, com uso da equação resultante da combinação do modelo linear de Vogeler et al., (1996) com o modelo potencial, com o uso da equação potencial com o íon potássio em função da condutividade elétrica da solução do solo (CEw). Os valores de K estimados aproximaram-se dos medidos ao longo do ciclo da cultura com desvio normalizado médio de 10,0%, desvio máximo e mínimo de 5,0% e 13,0% respectivamente.

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



# MONITORING ION IN THE SOIL SOLUTION AND SATURATION EXTRACT UNDER APPLICATION OF DIFFERENT IRRIGATION WATER FERTILIZING CONCENTRATION TO BANANA CV TERRA

Author: Torquato Martins de Andrade Neto

Adviser: Eugênio Ferreira Coelho

**ABSTRACT:** Ferrigation enables total control of the amount of fertilizer that should be applied to the soil in accordance to the crop requirements. This application of soluble salts to the soil relies on ion monitoring that optimizes the technology. Knowledge of chemical composition of soil solution as well electrical conductivity is important for a sustainable management of fertirrigation. Monitoring nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) and potassium ( $\text{K}^+$ ) is important since both are essential to the development of most crops. Monitoring soil solution ions can be accomplished by soil electrical conductivity that quantifies the amount of salts in the soil. The general objective of this work was to evaluate the concentration of some ions in the soil solution and saturation extract under application of different concentration of fertilizing salts in the irrigation water to banana cv Terra. The experiment was installed following a completely randomized design in a factorial escheme 6x2, with six fertilizing concentrations (1.0; 2.5 e 4.0  $\text{g.L}^{-1}$  of urea and 13.0; 10.0 and 3.0  $\text{g.L}^{-1}$  of calcium nitrate) and two trickle irrigation systems (microsprinkler and drip) totalizing twelve treatments. The plot was represented by 20 plants of banana cv. Terra, totalizing 240 plants under single rows of 3.00 m x 2.50 m in na area of 10 ha. The averages of treatments were compared by t test at 5% probability level. Electrical conductivity of saturation extract (CEes) and soil solution (CEw), nitrate and potassium of soil solution were monitored during the first cycle of banana crop. There was a linear elevation of electrical conductivity of saturation extract (CEes) and soil solution (CEw) with the increase on concentration of urea and calcium nitrate of the irrigation water. The use of irrigation water concentrations of 4.0  $\text{g.L}^{-1}$  and 13.0  $\text{g.L}^{-1}$  from injection solutions of urea and calcium nitrate, respectively, yielded CEes and CEw larger than 1.1  $\text{dSm}^{-1}$  during, at least 33% of

crop cycle for drip and microsprinkler irrigation systems. The concentration of nitrate in soil solution increased with the concentration of the nitrogen sources in irrigation water. Maximums of nitrate concentrations were observed for concentrations of 4.0 and 13.0 g L<sup>-1</sup>, respectively of urea and calcium nitrate. Concentrations up to 4.0 g L<sup>-1</sup> of urea and up to 10.0 g L<sup>-1</sup> of calcium nitrate did not show tendency for nitrate leaching in between 0.20 m and 0.40 m soil depth. It is feasible to estimate potassium concentration in the soil solution from soil water content and bulk electrical conductivity by using equation derived from Vogeler et al., (1996) linear model and potential onde as well potential equation where potassium is estimated as a function of soil solution electrical conductivity. Values of estimated K were close to the observed ones with normalized mean deviation of 10,0%, maximum and minimum deviation of 5,0% and 13,0%, respectively, during the crop cycle.

**Key words:** Fertirrigation, productivity, chemical parameters.

## INTRODUÇÃO

A bananeira é uma planta originária do continente Asiático, e no Brasil é cultivada de Norte a Sul, em regiões tropicais e subtropicais, sendo um vegetal herbáceo completo, pois apresenta raiz, pseudocaule, folhas, flores, frutos e sementes (ALVES, 1999). A bananeira é uma planta exigente em água, sendo que sua deficiência promove redução da clorofila das folhas e levando-as à morte prematura, retardando o crescimento e conseqüentemente, a produção (TURNER, 1994). A utilização de solos de baixa fertilidade e a manutenção de níveis inadequados de nutrientes durante o ciclo da planta são fatores responsáveis pela baixa produtividade da bananeira. Apesar de ser cultivada em diversos tipos de solos, a bananeira prefere solos ricos em matéria orgânica, bem drenados, argilosos ou francos, que possuam boa capacidade de retenção de água e topografia favorável (RANGEL, 1997; BORGES et al., 2000).

No desenvolvimento da agricultura tem se tornado cada vez mais prioritário uma maior racionalização do uso dos recursos ambientais, em face da crescente demanda de alimentos contrapondo a crescente escassez de água e de fertilizantes. Dessa forma é necessário atentar para a eficiência e controle nas aplicações de insumos as diversas culturas de forma a otimizar o uso dos mesmos.

Nos últimos anos, a forma tradicional de adubação em cultivos irrigados vem sendo substituída pela aplicação de fertilizantes via água de irrigação (SOUSA et al., 2002). A fertirrigação é uma técnica utilizada há anos pelos agricultores dos Estados Unidos, Israel e Itália, tornando-se de uso generalizado nesses países com o desenvolvimento de sistemas de irrigação modernos. No Brasil, o emprego da fertirrigação é recente, e em geral mais adotada pelos produtores que utilizam irrigação localizada. Essa técnica ajusta-se bem à fertilização da bananeira, que é exigente em nutrientes, com maior expressão

para potássio e nitrato (SOTO, 1992; BORGES et al., 1997; GOMES & NÓBREGA, 2000).

A Fertirrigação é uma técnica de aplicação simultânea de fertilizantes e água, através de um sistema de irrigação. É uma das maneiras mais eficientes e econômicas de aplicar fertilizante às plantas e vem sendo utilizada, em todo o País, especialmente na Região Nordeste, em pólos agrícolas de produção de frutas e hortaliças. Pesquisas têm demonstrado que a fertirrigação atende às necessidades agrícolas, sendo adaptáveis aos diferentes planos de irrigação em todos os sistemas, sejam fixos, semi-fixos ou móveis (THREDGILL et al., 1990).

A fertirrigação é uma prática usada em larga escala e tem grande aceitação pelos produtores, dada à economia de mão-de-obra e de energia, eficiência de uso, economia, flexibilidade de aplicação parcelada de fertilizantes e melhor utilização dos equipamentos de irrigação (VITTI et al., 1995). A Fertirrigação possibilita total controle da quantidade de fertilizantes que devem ser aplicados conforme a demanda das culturas. Desta forma espera-se aplicar ao solo quantidades adequadas que mantenham o equilíbrio iônico esperado. Entretanto, se a fertirrigação for aplicada indevidamente podem ocorrer excessos temporários de sais no solo com repercussão em seus atributos químicos.

A salinidade da água provoca alterações nas propriedades físico-químicas do solo (RHOADES et al., 1992). Segundo Ayers & Westcot, (1991) a presença de sais na solução do solo faz com que aumentem as forças de retenção por efeito de osmose e, portanto, a magnitude do problema de escassez na planta. Esse comportamento foi observado também por Gervásio et al., (2000), ao estudarem diferentes concentrações de sal na água de irrigação sobre a produção da alface americana, e por Marinho et al., (1998), ao estudarem diferentes condições de salinidade da água no desenvolvimento do abacaxizeiro. Santos, (1990) também observou esse fato na fase de desenvolvimento inicial de bananeiras, em condições de casa-de-vegetação, utilizando água de diferentes tipos de salinidade.

Nesse sentido, monitorar a salinidade do solo torna-se fundamental principalmente em fertirrigação. A condutividade elétrica do solo pode ser utilizada para quantificar a quantidade de sais presente no solo. Para fins de fertirrigação a condutividade elétrica (CE) pode ser expressa pela sua condutividade elétrica da solução ( $CE_w$ ) em condições não saturadas e pela condutividade elétrica do

extrato de saturação ( $CE_{es}$ ), isto é, a CE da solução do solo saturado. Estudos com o uso da CE têm apontado seu potencial para a mensuração do teor de sais da solução do solo (CAMINHA JUNIOR et al., 2000).

A condutividade elétrica do solo está diretamente relacionada ao seu conteúdo de água. A alteração da condutividade elétrica é um reflexo da mudança no conteúdo de água e/ou diluição da solução no solo (RICHARDS, 1954). TOME Jr, (1997) afirma que o excesso de sais na zona radicular, independentemente dos íons presentes, prejudica a germinação, desenvolvimento e produtividade das plantas. Isso porque uma maior concentração da solução vai tornar a competição por água entre os sais no solo e a planta ainda mais severa, prejudicando a absorção e seus processos metabólicos essenciais (efeito osmótico). O manejo da fertirrigação deve entre outros aspectos, atentar para a concentração dos fertilizantes na água de irrigação conseqüente da concentração da solução injetora. A variação da concentração de sais na água de irrigação afetará diretamente a condutividade elétrica da solução do solo e do extrato de saturação.

O tipo de fertilizante usado na fertirrigação para atender a aplicação de um dado nutriente poderá variar em quantidade para a mesma dosagem do nutriente. A uréia apresenta um índice salino/unidade de 1,63 e 45% de Nitrogênio em sua constituição. O nitrato de cálcio tem índice de 4,36 e 14% de Nitrogênio (Vieira et al., 2001; BORGES, et al., 2002). Nesse sentido, serão necessárias 3,2 vezes a quantidade de uréia na aplicação do nitrato de cálcio para a aplicação da mesma quantidade de nitrogênio. Esse incremento na quantidade de fertilizante pode resultar em maiores valores de condutividade elétrica do solo.

A água utilizada na irrigação, mesmo que com baixos níveis de salinidade, pode acarretar um processo de salinização ao solo, caso não seja manejada corretamente (AYERS & WESTCOT 1985). Nesse sentido, percebe-se que o monitoramento de íons no solo constitui-se em uma das principais ferramentas no manejo de fertirrigação. Esse monitoramento pode ser realizado com por meio de amostragens de solo para obtenção do extrato de saturação ou por meio da solução do solo, extraída por extratores (RHOADES & OSTER, 1986).

A tolerância de diferentes culturas ao efeito da salinidade do solo é expressa em diversas publicações por intermédio de valores de  $CE_{es}$ . De acordo com Richards (1954), a alteração da condutividade elétrica é um reflexo da mudança no teor de água e ou diluição da solução do solo. Assim, os resultados de

condutividade elétrica do solo a uma dada umidade podem ser estimados com base na umidade a saturação e na condutividade elétrica do extrato de saturação.

De acordo com Medeiros & Gheyi, (1997) o nível de salinidade dos solos deve ser sempre inferior ao nível nocivo às plantas cultivadas, sendo que pode-se destacar os valores de salinidade limiar publicados em trabalhos científicos (MAAS & HOFFMAN, 1977; AYERS, 1977; TANJI, 1990; AYERS & WESTCOT, 1991). Assim, o monitoramento direto da salinidade na zona radicular é recomendado para avaliar a eficiência dos diversos programas de manejo nas áreas irrigadas. Nesse sentido, a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e da solução do solo são parâmetros que devem ser utilizados no monitoramento da fertirrigação.

A utilização indevida de fertilizantes gera perdas de nutrientes causadas pelo processo de lixiviação. Tal fato tem grande importância para o produtor agrícola, pelo fato de significar baixas eficiências de utilização de nutrientes pelas culturas e, por consequência resultar em menores rendimentos (KONRAD, 2002). A lixiviação dos íons através do perfil do solo é uma das principais causas de perdas de nutrientes, e contribui sensivelmente para a acidificação do solo, o que indica a necessidade de adotar um manejo de água e nutrientes com bastante critério. Ela é influenciada diretamente pelos fatores, dentre eles a condutividade hidráulica, que determinam o fluxo de água no solo e pela concentração de  $\text{NO}_3^-$  na solução (WHITE, 1987).

O nitrogênio é o nutriente mais aplicado via água de irrigação, pois apresenta grande mobilidade no solo principalmente na forma de nitrato (BORGES et al., 2002). O nitrato é uma das formas inorgânicas do N no solo e constitui produto final da mineralização do N orgânico, contido em qualquer resíduo orgânico após adição ao solo. Por não ser adsorvido pelas partículas do solo, que geralmente apresentam carga elétrica líquida negativa, esse ânion permanece livre na solução do solo. A lixiviação de nitrato é considerada a principal perda do N disponível às plantas (ERREBHI et al., 1998; REICHARDT, 1990). Nesse sentido, pelo fato de ser o nitrogênio um nutriente utilizado em larga escala, o monitoramento constante do nitrato da solução do solo torna-se imprescindível com vistas a manter os níveis desses íons no solo em uma faixa aceitável e sustentável. Pois concentrações altas no solo podem por meio da lixiviação, elevar os índices desse íon nos lençóis freáticos cuja água poderá ser

usada para consumo humano ou fluir para os mananciais. Quando o teor de nitrato no lençol excede  $10\text{mg L}^{-1}$ , gera risco à saúde pública, uma vez que pode desenvolver a metahemoglobinemia, conhecida também como síndrome do “bebê azul”, (FENG et al., 2005). Em áreas exploradas com agricultura irrigada, a concentração de  $\text{N-NO}_3$  nas águas do lençol freático, algumas vezes excede  $200\text{mg L}^{-1}$  (MUÑOZ-CARPENA et al., 2002; CHOWDARY et al., 2005).

O monitoramento dos íons no solo deve ser feito para avaliar a fertirrigação e deve envolver o acompanhamento da aplicação dos fertilizantes, observando a concentração da solução de injeção, concentração da solução final na saída dos emissores, uniformidade de distribuição ao longo da área e distribuição dos nutrientes no perfil do solo (SOUZA & COELHO, 2001). A aplicação sem critério de sais na água pode tornar alta a concentração salina no solo dificultando a absorção de água e nutrientes pelas plantas devido ao baixo potencial total da solução do solo e da competição química entre nutrientes e sais (YEO & FLOWERS, 1989).

Em função de ser a fertirrigação uma técnica que permite alterações rápidas e precisas na quantidade de adubos aplicados, o monitoramento passa a ser ferramenta de extrema importância por possibilitar, ainda durante o ciclo da cultura, ajustes necessários na quantidade de fertilizantes aplicados e evitar flutuações das quantidades de sais na solução do solo (LANDIS, 1989).

Deve-se recomendar um manejo da fertirrigação, que promova a aplicação dos nutrientes na quantidade e no momento adequado. Para tanto, uma avaliação da situação da solução do solo torna-se chave no que se refere ao melhor aproveitamento da técnica pelo produtor. Este estudo da situação de fertilidade em que se encontra o solo tem sido feito por meio de análises químicas do solo, o que leva um tempo relevante entre a amostragem em campo e a liberação dos resultados ao produtor. Uma alternativa consiste no uso de extratores de solução pelos quais se coleta a solução do solo para o monitoramento dos níveis de nutrientes aplicados via fertirrigação com o uso de kits de leitura rápida.

O manejo da fertirrigação deve se embasar no conhecimento da dinâmica de íons no solo, uma vez que eles influem nas condições do potencial osmótico do volume molhado (COELHO, et. al., 2005). O conhecimento da dinâmica de íons no solo pode ajudar na recomendação dos prováveis níveis de condutividade elétrica da solução do solo ou do extrato de saturação adequados a uma

determinada cultura, ao longo de seu ciclo. Dessa forma, o conhecimento da dinâmica de íons no solo é necessário na sustentabilidade dos recursos do solo e da água (COELHO, et. al., 2005). Atualmente é visto na literatura ser possível estimar íons por modelos matemáticos através de condutividade elétrica aparente do solo, CEw e pela umidade do solo.

O emprego da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) apresenta-se como uma alternativa viável, uma vez que pode simultaneamente estimar num dado local do solo sua umidade e sua condutividade elétrica aparente (CEa). O uso da TDR permite, indiretamente, conhecer a condutividade elétrica da solução do solo (CEw) (NOBORIO, 2001; WRAITH & Das, 1998; MUNÓZ-CARPENA et al. 2001; DALTON et al., 1984). A literatura tem apresentado diversos modelos que relacionam a umidade do solo ( $\theta$ ), CEa e CEw (RHOADES et al., 1976; VOGELER & CLOTHIER, 1996; HEIMOVAARA et al., 1995; NADLER et al., 1984, modificado Por RHOADES et al., 1989). Os modelos de Rhoades et al.(1976) e o empírico de Vogeler & Clothier, 1996 são os que tem melhor se ajustado aos dados de CEa como função de CEw e  $\theta$  (SANTANA et al., 2004, COELHO et al., 2004).

Alguns autores (HEIMOVAARA et al., 1995; MUNOZ-CARPENA et al., 2001) têm estabelecido relações entre CEw e um dado nutriente na solução o que tem sido feito também com o nitrato (MMOLAWA & OR, 2000; COELHO et al., 2005) e com o potássio (COELHO et al., 2004). A literatura tem apresentado poucos trabalhos para determinação de níveis de nutrientes no solo com uso da solução do solo (SILVA et al., 2003). A complexidade do solo, quanto à dinâmica do estado iônico é o maior limitante no uso dessa metodologia. Relações positivas com elevados coeficientes de determinação entre CEw e concentrações de alguns nutrientes foram observadas por Muñoz-Carpena et al., (2001), trabalhando com aplicação de K e por Mmolawa et al., (2000) com o  $\text{KNO}_3$ .

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a concentração dos íons na solução do solo e no extrato saturação sob aplicação de diferentes concentrações de sais fertilizantes na água de irrigação em bananeira cv Terra. Os objetivos específicos foram: avaliar o efeito da concentração de nitrato de cálcio e uréia na água de irrigação, sobre a condutividade elétrica da solução do solo e do extrato saturação; avaliar o efeito da concentração de nitrato de cálcio e uréia na água de irrigação, aplicada por gotejamento e microaspersão, no teor de  $\text{NO}_3^-$  na solução



do solo em duas profundidades da zona radicular da bananeira cv Terra e avaliar e validar modelos para estimar a concentração de potássio na solução do solo como função da condutividade elétrica (CEa), do teor de umidade ( $\theta$ ) e da condutividade elétrica da solução do solo (CEw), sob condições de campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E. J. **A cultura da bananeira**: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais. 2. ed. Brasília: EMBRAPA/CNPMPF, 1999. 585 p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Qualidade de água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. (1985). "**Water quality for agriculture**" Roma: FAO, Irrigation and Drainage Paper, 29, Rev.1, 174 p.

AYERS, R. S. Quality of irrigation water. **Journal of Irrigation Drainage**, v.103, p.135-154, 1977.

BORGES, A. L.; COSTA, É. L. Requerimentos de nutrientes para fertirrigação - banana. In: Ana Lúcia Borges; Eugênio Ferreira Coelho; Aldo Vilar Trindade. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. 1a ed. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002, v. único, p. 77-84.

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.

BORGES, A. L.; SILVA, J. T. A. da; OLIVEIRA, S. L. de. Adubação nitrogenada e potássica para bananeira cv. Prata-Anã irrigada: produção e qualidade dos frutos no primeiro ciclo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v.19, n.2, p.179-84. 1997.

CAMINHA JUNIOR, I. C.; SERAPHIM, O. J.; GABRIEL, L. R. A. Caracterização de uma área agrícola irrigada com efluente agroindustrial, através de análises químicas e da resistividade do solo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.13, n.4, p.40-54, 2000.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; SILVA, T. S. M. **Uso** da TDR na avaliação de íons nitrato no volume molhado de solo fertirrigado com sulfato de amônio. In: XV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2005, Teresina. **Anais...** XV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem - Simpósio Internacional de Uso de Águas Subterâneas, 2005.

COELHO, E. F.; SANTANA, G. Da S.; SILVA, T. S. M.; RAMOS, M. M. Estimativa da concentração de potássio na solução do solo com base em leituras de condutividade elétrica e umidade por reflectometria no domínio do tempo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33, 2004, São Pedro. **Anais...** Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, CD-ROM.

CHOWDARY, N.H. et al. Decision support framework for assessment of non-point-source pollution of groundwater in large irrigation projects. *Agricultural Water Management*, v.75 p. 94-225, 2005.

DALTON, F. N.; HERKELRATH, W. N.; RAWLINS, D. S.; RHOADES, J. D. Time-domain reflectometry: Simultaneous measurement of soil water content and electrical conductivity with a single probe. *Science*, 224: 989-990, 1984.

ERREBHI, M. et al. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. ***Agronomy Journal***, v.90, n.1, p.10-15, 1998.

FENG Z.Z. et al. Soil N and salinity leaching after the autumn irrigation and its impact on groundwater in Hetao Irrigation District, China. *Agricultural Water Management*. v.71,p.131-143, 2005.

GERVÁSIO, E. S.; CARVALHO, J. A.; SANTANA, M. J. de. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção da alface americana. ***Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental***, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 125-128, 2000.

GOMES, J. A.; NÓBREGA, A. C. Comportamento de cultivares e híbridos de bananeira na região produtora do Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.22, n.1, p.11- 3, 2000.

HEIMOVAARA, T. J.; FOCKE, A. G.; BOUTEN, W.; VERSTRANTEN, J. M. Assessing temporal variations in soil water composition with time domain reflectometry. *Soil Science Society of America Journal*, v. 59, p. 689-698, 1995.

KONRAD, M. **Efeito de sistemas de irrigação localizada sobre a produção e qualidade da acerola (Malpighia spp) na região da Nova Alta Paulista**. Ilha Solteira, Faculdade de Engenharia, 2002. 119p. (Mestrado em Sistema de Produção – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP).

LANDIS, T. D. Mineral nutrients and fertirrigation. In: LANDIS, T. D., TINUS, R. W., MCDONALD, S. E., BARNETT J. P. **The container tree nursery manual**, 4. Agric. Handbk.674. Washington, D.C.: Department of Agriculture, Forest Service. 1989, 1-67.

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, v.103, p.115-134, 1977.

MARINHO, F. J. L.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R. Desenvolvimento inicial do abacaxizeiro, cv. Smooth Cayenne, sob diferentes condições de salinidade da água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 1-5, 1998.

MEDEIROS, J. F. DE.; GHEYI, H. R. **Manejo do sistema solo-água-planta em solos afetados por sais**. In: Gheyi, H.R.; Queiroz, J.E.; Medeiros, J.F. de (eds.). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. cap. 8, p. 239-284.

MMOLAWA, K. OR, D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. *Plant and Soil*, v. 222, p.163-190. 2000.

MUÑOZ-CARPENA, R.M. et al. Nitrogen evolution and fate in a Canary Islands (Spain) sprinkler fertigated banana plot. *Agricultural Water Management*, v.52, p.93-117, 2002.

MUÑOZ-CARPENA, R.; REGALADO, C. M.; ALVAREZ-BENEDÍ, J.; SOCORRO, A. R.; PÉREZ, N. **Determinación simultánea mediante TDR del transporte de agua y un soluto salino en el suelo.** In: LÓPEZ, J. J. e QUEMADA, M. ed. V, *Temas de Investigación en Zona no Saturada*. p. 1-7. Pamplona: Universidade Pública de Navarra, 2001.

NADLER, A.; FRENKEL, H.; MANTELL, A. Applicability of the four-probe technique under extremely variable water contents and salinity distribution. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.48, n. 6, p.1258–1261, 1984.

NOBORIO, K. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 31:213-237, 2001

RANGEL, A. Banana. In: SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e de Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. **Manual técnico das culturas**. 2.ed. rev. atual. Campinas: Cati, 1997. p.100-110.

REICHARDT, K. Irrigação. In: *A água em sistemas agrícolas*. São Paulo: Manole, 1990. p. 139- 55.

RICHARDS, L.A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160p. USDA Agricultural Handbook, 60.

RHOADES, J. D., KANDIAH, A. & MASHALI, A. M. *The use of saline waters for crop production*. Rome: FAO, 1992. 133p. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48.

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*, 53: 433-439, 1989.

RHOADES, J.D.; OSTER, J.D. Solute content. In: KLUTE, A. (Ed.) *Methods of soil analysis*. 2.ed. Part 1. Agronomy. Madison: ASA/SSSA, 1986. p.995-1006.

RHOADES, J. D.; RAATS, P. A.; PRATHER, R. J. Effects of liquid phase electrical conductivity, water content and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 40: 651-655, 1976.

SANTANA, G. DA S.; COELHO, E. F.; SILVA, T. S. M.; RAMOS, M. M; COELHO FILHO, M. A. Estimativa da condutividade elétrica da solução do solo em função da umidade e da condutividade elétrica aparente. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33, 2004, São Pedro. **Anais...** Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, CD-ROM.

SANTOS, G. R. **Crescimento da bananeira nanica (*Musa sp.*) sob diferentes qualidades de água de irrigação**. 1990. 78 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

SILVA, T. S. M., et al. Parâmetros para monitoramento da distribuição de íons no solo com uso de reflectometria no domínio do tempo. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTIRRIGAÇÃO - COMBRAFERTEI, 1., 2003, João Pessoa.

SOUSA, V.F. de; FOLEGATTI, M.V.; COELHO FILHO, M.A.; FRIZZONE, J.A. Distribuição radicular do maracujazeiro sob diferentes doses de potássio aplicadas por fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.51-56, 2002.

SOUZA, V. F.; COELHO, E. F. Manejo de fertirrigação em fruteiras. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C.; RESENDE, R. S. (Coord.) **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba:Agropecuária, 2001, p.289-317.

SOTO, M. **Bananos**: cultivo y comercialización. 2.ed. San José: LIL, 1992. 674 p.

TANJI, K.K.(Ed.) **Agricultural salinity assessment and management**. New York: ASCE, 1990. 610p. (Manuals and Reports of Engineering Practices, 71).

THREADGILL, E. D.; EISENHAUER, D. E.; YOUNG, J. R. & BAR – YOSEF, B. Chemigation. IN: HOFFMAN, G. J.; HOWELL, T. A.; SOLOMON, K. H., ed. *Management of farm irrigation systems*. St. Joseph: ASAE, 1990. v.20, p. 749-775.

TOMÉ JR, J. B. *Manual para interpretação de análise de solo*. Curitiba: Editora Guaíba Agropecuária, 1997. 247 p.

TURNER, D. Bananas and plantains. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P.C. (Ed.) **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. Massachusetts: Library of Congress, 1994. v.2, p.37-66.

VIEIRA, R. F.; COSTA, E. L.; RAMOS, M. M. Escolha e manejo de fertilizantes na fertirrigação de bananeiras. In: SIMPÓSIO NORTE MINEIRO SOBRE A CULTURA DA BANANA, 1., 2001, Nova Porteirinha. **Anais...** Montes Claros: Ed. Unimontes, 2001. P.203-217.

VITTI, G. C.; HOLANDA, J. S.; LUZ, P. H. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; BOARETTO, A. E.; PENTEADO, S. R. Fertirrigação: condições e manejo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina, PE. **Anais...** Petrolina: Embrapa - CPATSA/SBCS, 1995. p. 195-271.

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.

WRAITH, J. M; Das, B.S. Monitoring soil water and ionic solute distributions using time domain reflectometry. *Soil and Tillage Research*, 47:145-150, 1998.

WHITE, R.E. Leaching. In: WILSON, J. R. **Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems**. Wallingford : C.A.B. International, 1987. p. 193-211.

YEO, A. R.; FLOWERS, T. J. **Selection for physiological characters: examples from breeding for salt tolerance**. In: Jones, H. G.; Flowers, T. J.; Jones, M. B. (ed.). *Plants under stress*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. cap.12, p.217-234.



## **CAPITULO 1**

**EFEITO DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FERTILIZANTES DA ÁGUA  
DE IRRIGAÇÃO NA SALINIDADE DA SOLUÇÃO E DO EXTRATO DE  
SATURAÇÃO DO SOLO CULTIVADO COM BANANEIRA DA TERRA**

## **EFEITO DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FERTILIZANTES DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NA SALINIDADE DA SOLUÇÃO E DO EXTRATO DE SATURAÇÃO DO SOLO CULTIVADO COM BANANEIRA DA TERRA.**

Autor: Torquato Martins de Andrade Neto

Orientador: Eugênio Ferreira Coelho

**RESUMO:** O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da concentração do nitrato de cálcio e uréia na água de irrigação sobre a condutividade elétrica do solo ao longo do primeiro ciclo da cultura da bananeira da Terra. O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado, com doze tratamentos e três repetições, com seis plantas por parcela. Os tratamentos consistiram no uso de três concentrações (1,0; 2,5 e 4,0 g.L<sup>-1</sup>) de uréia, e também três concentrações (3,5; 10,0 e 13,0 g.L<sup>-1</sup>) de nitrato de cálcio na água de irrigação, aplicadas por dois sistemas de irrigação localizada, microaspersão e gotejamento. Diante dos resultados obtidos, observa-se que houve uma tendência linear de elevação da condutividade elétrica do extrato de saturação e da solução do solo com o aumento da concentração da uréia e do nitrato de cálcio na água de irrigação. O uso das concentrações da água de irrigação de 4,0 g.L<sup>-1</sup> e de 13,0 g.L<sup>-1</sup> resultantes da solução de injeção de uréia e de nitrato de cálcio, respectivamente resultaram em CEs e CEes superiores a 1,1 dS.m<sup>-1</sup>, em pelo menos 33% do ciclo da cultura para os sistemas de gotejamento e de microaspersão na bananeira terra.

**Palavras-chave:** uréia, nitrato de cálcio, fertirrigação

## **EFFECT OF DIFFERENT CONCENTRATIONS OF FERTILIZERS OF IRRIGATION WATER ON THE SALINITY OF SOIL SOLUTION AND SATURATION EXTRACT IN A SOIL WITH BANANA CROP.**

Author: Torquato Martins de Andrade Neto

Adviser: Eugênio Ferreira Coelho

**ABSTRACT:** The objective of this work was to evaluate the effect of urea and calcium nitrate concentration in irrigation water on soil electrical conductivity along the first cycle of banana cv Terra. The experiment followed a completely randomized design with twelve treatments and three replications with six plants per plot. Treatments regarded for using three urea concentrations (3.5; 10.0 e 13.0 g.L<sup>-1</sup>) and three calcium nitrate concentrations (3,5; 10,0 e 13,0 g.L<sup>-1</sup>) in irrigation water applied by two trickle irrigation systems (microsprinkler and drip). There was a linear elevation of electrical conductivity of saturation extract (CEes) and soil solution (CEw) with the increase on concentration of urea and calcium nitrate of the irrigation water. The use of irrigation water concentrations of 4,0 g.L<sup>-1</sup> and 13.0 g.L<sup>-1</sup> from injection solutions of urea and calcium nitrate, respectively, yielded CEes and CEw larger than 1.1 dS.m<sup>-1</sup> during, at least 33% of crop cycle for drip and microsprinkler irrigation systems.

**Key words:** urea, calcium nitrate, fertirrigation.

## INTRODUÇÃO

A Fertirrigação é uma técnica que combina a aplicação água com os fertilizantes, isso por meio de determinados sistemas de irrigação. Essa característica propicia uma forma eficiente e econômica de aplicar determinados fertilizantes às plantas. Diversas pesquisas têm demonstrado que a fertirrigação atende às necessidades agrícolas, sendo adaptáveis aos diferentes planos de irrigação em todos os sistemas (MAIA, 1989).

A salinidade do solo pode provocar problemas aos cultivos agrícolas. Nesse sentido, monitorar a salinidade do solo torna-se fundamental principalmente em fertirrigação. A condutividade elétrica do solo pode ser utilizada para quantificar os sais presente no solo. Para fins de fertirrigação a condutividade elétrica (CE) pode ser expressa pela condutividade elétrica da solução do solo ( $CE_w$ ) em condições não saturadas e pela condutividade elétrica do extrato de saturação ( $CE_{es}$ ), isto é, a CE da solução do solo saturado. Estudos com o uso da CE têm apontado seu potencial para a mensuração do teor de sais da solução do solo (CAMINHA JUNIOR et al., 2000).

A condutividade elétrica do solo tem ligação direta com o conteúdo de água no solo. Na literatura observa-se que alterações no conteúdo de água e/ou diluição da solução do solo acarretam mudanças na condutividade elétrica do solo (RICHARDS, 1954). O excesso de sais na zona radicular, independentemente dos íons presentes, prejudica a germinação, desenvolvimento e produtividade das plantas (TOME Jr, (1997). Isso porque uma maior concentração salina na solução do solo resulta em uma maior competição por água entre a planta e os sais (efeito osmótico), isso prejudica os processos metabólicos essenciais das plantas. No manejo racional da fertirrigação, deve-se entre outros aspectos dar atenção ao monitoramento da concentração dos fertilizantes na água de irrigação e na solução injetora. Diferentes concentrações de sais na água de irrigação promoverão diferentes valores de condutividade elétrica da solução do solo e do extrato de saturação.

O tipo de fertilizante usado na fertirrigação influi na quantidade e dosagem do nutriente empregado. A uréia apresenta um índice salino/unidade de 1,63 e 45% de Nitrogênio em sua constituição. O nitrato de cálcio tem índice de 4,36 e

14% de Nitrogênio (Vieira et al., 2001). Para tanto, serão necessárias 3,2 vezes de nitrato de cálcio para a aplicação da mesma quantidade de nitrogênio que a uréia. Esse incremento na quantidade de fertilizante pode resultar em maiores valores de condutividade elétrica do solo.

Sabe-se que mesmo conteúdo baixos níveis de salinidade a água pode acarretar um processo de salinização ao solo, caso não seja dado um manejo correto (AYERS & WESTCOT, 1985). Com vistas a realizar-se um manejo adequado, percebe-se que o monitoramento de íons no solo apresenta-se como uma das principais ferramentas no manejo de fertirrigação. Esse monitoramento pode ser realizado com por meio de amostragens de solo para obtenção do extrato de saturação ou por meio da solução do solo, extraída por extratores (RHOADES & OSTER, 1986). A alteração da condutividade elétrica é um reflexo da mudança no teor de água e/ou diluição da solução do solo. Assim, os resultados de condutividade elétrica verificados na solução do solo podem ser estimados na saturação, sendo corrigidos em função das diferentes umidades.

O nível de salinidade dos solos deve ser sempre inferior ao nível nocivo às plantas cultivadas (Medeiros & Gheyi, 1997). Existem na literatura valores de salinidade limiar publicados em trabalhos científicos (MAAS & HOFFMAN, 1977; AYERS, 1977; MAAS, 1984; TANJI, 1990; AYERS & WESTCOST, 1991). Nesse sentido, promover o monitoramento direto da salinidade na zona radicular é recomendado para avaliar a situação atual e avaliar a eficiência dos diversos programas de manejo nas áreas irrigadas. Nesse sentido, a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE<sub>s</sub>) e da solução do solo (CE<sub>w</sub>), apresentam-se como ferramentas que devem ser utilizados no monitoramento da fertirrigação.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da concentração do nitrato de cálcio e uréia na água de irrigação sobre a condutividade elétrica da solução do solo e do extrato de saturação ao longo do primeiro ciclo da cultura da bananeira da Terra.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, localizada no município de Cruz das Almas – BA (12°48`S;39°06`W; 225m). O clima da região é classificado como úmido a sub-úmido com pluviosidade média anual de 1.143 mm (D'ANGIOLELLA et al., 1998). As características químicas do solo no início do experimento foram: (pH 6,3; 11,0 mg/dm<sup>3</sup> de P; 0,06 cmolc/dm<sup>3</sup> de K; 3,4 cmolc/dm<sup>3</sup> de Ca + Mg; 0,09 cmolc/dm<sup>3</sup> de Na; 1,32 cmolc/dm<sup>3</sup> de H + Al; 3,56 cmolc/dm<sup>3</sup> de S; CTC 4,88 cmolc/dm<sup>3</sup>; V 73% PB e 5,01 g/kg). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo com textura franca; com 444 g.kg<sup>-1</sup> de areia total, 131 g.kg<sup>-1</sup> de silte, 425 g.kg<sup>-1</sup> de argila, densidade de 1,55 kg.dm<sup>-3</sup>, umidade correspondente a capacidade de campo e ao ponto de murcha permanente de 0,23 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup> e 0,16 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>, respectivamente.

Foi instalado um experimento no delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 6 x 2, seis adubações (três doses de uréia 1,0; 2,5 e 4,0 g.L<sup>-1</sup> e três doses de nitrato de cálcio 13,0; 10,0 e 3,0 g L<sup>-1</sup>) e dois sistemas de irrigação localizada (microaspersão e gotejamento), totalizando 12 tratamentos. As repetições foram obtidas com 10 avaliações ao longo do tempo durante o primeiro ciclo da cultura. A parcela experimental foi representada por 20 plantas de bananeira 'Terra', totalizando 240 plantas em fileiras simples de 3,00m x 2,50m, com área total do experimento de 0,10 ha. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste t em nível de 5% de probabilidade.

O sistema de microaspersão foi constituído de um microaspersor para cada quatro plantas com vazão de 43,0 L.h<sup>-1</sup>. O sistema de gotejamento envolveu uma linha lateral de irrigação por fileira de plantas, com três emissores de 4,0 L.h<sup>-1</sup> por touceira de plantas. A lamina de irrigação de reposição de água entre duas irrigações foi calculada pela evapotranspiração da cultura estimada pela evaporação obtida pelo método do "tanque classe A". As fertirrigações ocorreram numa frequência semanal, tendo sido utilizada a equação 1 para cálculo do volume da solução (v) e concentração da solução injetora recomendada por Coelho, (2002):

$$v = \frac{M \cdot Q_s \cdot C_n}{Q_f \cdot C_f} \quad (1)$$

Onde:

$M$  = massa do fertilizante (fonte do nutriente) (g);

$Q_s$  = vazão do dispositivo de injeção da solução fertilizante no sistema de irrigação ( $L \cdot h^{-1}$ );

$C_n$  = concentração do nutriente no fertilizante;

$Q_f$  = vazão da linha de irrigação ( $L \cdot h^{-1}$ );

$C_f$  = concentração do nutriente na saída dos emissores ( $g \cdot L^{-1}$ ).

Foram coletadas amostras da solução injetora nos dias de fertirrigação, no tanque de solução e na saída dos emissores. No sistema de microaspersão, seguiram-se os seguintes tempos médios de irrigação: 1 hora e 20 minutos; 33 minutos e 20 minutos, para respectivamente as concentrações de 1,0; 2,5 e 4,0  $g \cdot L^{-1}$  para uréia e 3,0; 10,0 e 13,0  $g \cdot L^{-1}$  para o nitrato de cálcio. Já No sistema de gotejamento, os tempos médios de irrigação foram os seguintes: 58 minutos; 24 minutos e 14 minutos, para respectivamente as concentrações de 1,0; 2,5 e 4,0  $g \cdot L^{-1}$  para uréia e 13,0; 10,0 e 3,0  $g \cdot L^{-1}$  para o nitrato de cálcio.

Mensalmente foi coletado, para cada parcela experimental, amostras de solução do solo por meio de extratores de solução para monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo (CEs), com uso de extratores de solução instalados, no caso da microaspersão a 0,30m da planta na profundidade de (0,20 e 0,40m), em três repetições. No gotejamento, os extratores de solução foram instalados junto ao gotejador na mesma profundidade acima citada.

Coletaram-se no período compreendido entre uma fertirrigação e outra, amostras compostas de solo a 0,30 m da planta radialmente ao microaspersor e próximo ao gotejador, com três repetições por parcela. As amostras foram coletadas com um trado de solo tipo holandês, de 0,030m de diâmetro, secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha 0,002mm. Em seguida foi processada a pasta de saturação, seguindo metodologia da (EMBRAPA, 1997) da qual se obteve o extrato de saturação que foi usado para determinação da condutividade elétrica com uso de um condutímetro de bancada. Foram coletadas paralelamente amostras de solo para análise em laboratório dos cátions trocáveis.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Condutividade elétrica da solução do solo e extrato de saturação com aplicação de uréia via água de irrigação.

Os valores da condutividade elétrica da solução do solo (CEs) e do extrato de saturação (CEes) para as três concentrações de uréia na água de irrigação são mostrados na Tabela 1. Exceto para a concentração de 1,0 g.L<sup>-1</sup> não houve diferenças significativas entre as médias de CEes ou CEs observadas para os dois sistemas de irrigação. As médias de CEes no sistema de microaspersão foram superiores, em valores absolutos às médias obtidas no sistema de gotejamento. Observou-se para ambos os sistemas que CEs foi igual a 0,9 vezes a CEes. Esses resultados contrastam com os encontrados por Dias et al., (2004), que observaram que a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo é igual 0,70 vezes a condutividade elétrica da solução obtida com extrator de cápsula porosa. De modo geral, os valores absolutos da condutividade elétrica do extrato de saturação ou da solução do solo obtidas nos dois sistemas de irrigação ficaram muito próximos entre si, entretanto as médias de CEes foram superiores às de CEs, exceto para a concentração de 1,0 g.L<sup>-1</sup>. Essa superioridade de CEes sugere que o potencial de passagem de íons salinos da fração sólida para a fração líquida do solo, na saturação ocorreu de forma mais facilitada, o que também foi observado por (SANTANA et al., 2006).

**TABELA 1.** Médias de condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e da solução do solo (CEs), fertirrigados com uréia por gotejamento e microaspersão.

| Concentração de Uréia | CEes (dS.m <sup>-1</sup> ) |           | CEs (dS.m <sup>-1</sup> ) |           |
|-----------------------|----------------------------|-----------|---------------------------|-----------|
|                       | Micro                      | Gotejo    | Micro                     | Gotejo    |
| 1,0 g.L <sup>-1</sup> | 0,5399 Ac                  | 0,3784 Bc | 0,5850 Ac                 | 0,5264 Ac |
| 2,5 g.L <sup>-1</sup> | 0,7743 Ab                  | 0,7469 Ab | 0,6993 Ab                 | 0,6732 Ab |
| 4,0 g.L <sup>-1</sup> | 1,0016 Aa                  | 1,0521 Aa | 0,9339 Aa                 | 0,9547 Aa |

\*Letras maiúsculas comparam os sistemas de irrigação em cada profundidade. As minúsculas na coluna comparam as concentrações de sais na água de irrigação.

Ocorreram incrementos na condutividade elétrica do extrato de saturação à medida que aumentou a concentração de uréia. No sistema de microaspersão em



termos gerais esse aumento foi de  $0,25 \text{ dS.m}^{-1}$  comparando o tratamento de  $1,0 \text{ g.L}^{-1}$  com o de  $2,5 \text{ g.L}^{-1}$  e de  $2,5 \text{ g.L}^{-1}$  com  $4,0 \text{ g.L}^{-1}$ . Essa variação foi de  $0,50 \text{ dS.m}^{-1}$  quando compara-se o tratamento de  $1,0 \text{ g.L}^{-1}$  com  $4,0 \text{ g.L}^{-1}$ . No sistema de gotejamento observou-se um incremento maior, à medida que se aumentou a concentração de  $1,0$  para  $2,5 \text{ g.L}^{-1}$  houve um acréscimo de  $0,37 \text{ dS.m}^{-1}$ , ao passo que a CEes aumentou  $0,30 \text{ dS.m}^{-1}$  a medida que aumentou a concentração de uréia de  $2,5$  para a de  $4,0 \text{ g.L}^{-1}$ . Observou-se que os sistemas diferiram estatisticamente ( $P < 0,05$ ) apenas para a concentração de  $1,0 \text{ g.L}^{-1}$ .

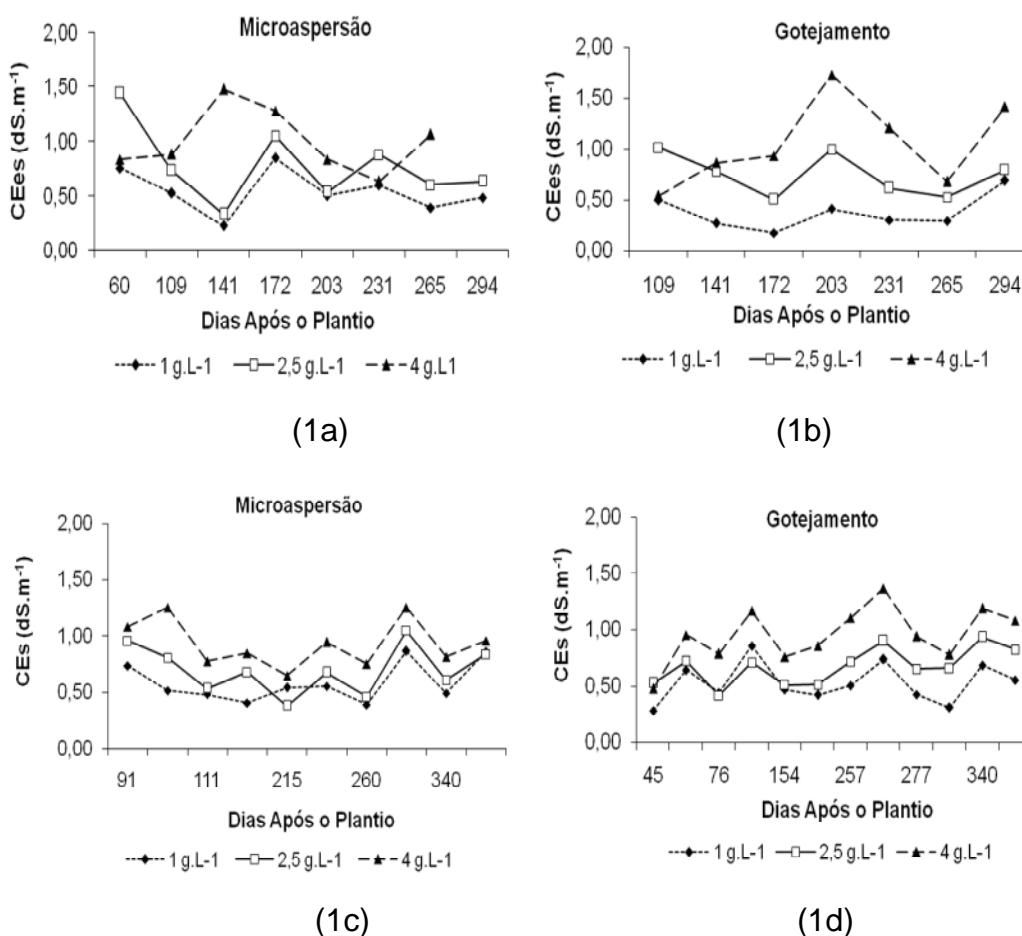
No que se refere à CEs, ocorreram aumentos de cerca de  $0,09 \text{ dS.m}^{-1}$  a medida em que aumentou de  $1,0$  para  $2,5 \text{ g.L}^{-1}$  a concentração de uréia na microaspersão. No sistema de gotejamento comparando-se esses mesmos tratamentos o incremento foi de  $0,15 \text{ dS.m}^{-1}$ . Houve acréscimos de  $0,24$  e  $0,28 \text{ dS.m}^{-1}$  para respectivamente os sistemas de microaspersão e gotejamento com o aumento da concentração de  $2,5$  para a de  $4,0 \text{ g.L}^{-1}$ . Em se comparando as concentrações de  $1,0$  com  $4,0 \text{ g.L}^{-1}$ , observou-se incrementos de  $0,35$  e  $0,43 \text{ dS.m}^{-1}$  nos sistemas de microaspersão e gotejamento respectivamente. Na comparação feita dentro de cada concentração, observou-se que os sistemas não diferiram entre si.

A Figura 1 mostra o comportamento da condutividade elétrica obtida do extrato de saturação do solo (CEes) e da solução do solo (CEs) ao longo do ciclo da cultura. Os dados não mostraram contínua elevação e/ou redução ao longo do tempo em qualquer das modalidades da condutividade elétrica avaliada para os dois sistemas estudados. Os valores de condutividade elétrica foram maiores para a concentração de  $4,0 \text{ g.L}^{-1}$  seguido das concentrações de  $2,5$  e  $1,0 \text{ g.L}^{-1}$  respectivamente. Na medida em que aumentou a concentração do fertilizante na água de irrigação, houve aumentos na CEs e CEes; isso foi observado também por (BORELLA, 1986; SOUZA, 1995; BLANCO, 1999 e GERVÁSIO et al., 2000).

A condutividade elétrica da solução do solo (CEs) e do extrato de saturação (CEes) estiveram acima de  $1,1 \text{ dS.m}^{-1}$  apenas na concentração de  $4,0 \text{ g.L}^{-1}$  tanto na microaspersão quanto no gotejamento, em parte do ciclo da cultura. O uso dessa concentração pode acarretar prejuízos à cultura tanto no gotejamento quanto na microaspersão onde  $50\%$  e  $33\%$  dos dados de CEes superaram  $1,1 \text{ dS.m}^{-1}$ , respectivamente, isso tendo em vista a recomendação de cultivo de bananeiras em solo com condutividade elétrica do extrato de saturação inferior a

1,1 dS.m<sup>-1</sup> (OLIVEIRA, 1999). Segundo Oliveira et al. (2000), por serem plantas glicófitas, as bananeiras são sensíveis à salinidade. Israeli, et al. (1986), consideraram níveis médios de salinidade da água e solo de 3,6 e 3,0 dS.m<sup>-1</sup>, respectivamente, como causadores de retardo no crescimento e declínio da produção de bananeiras.

O desenvolvimento da bananeira é reduzido quando o cultivo é realizado em solos com condutividade elétrica do extrato saturado (CEe) maior que 3,0 dS.m<sup>-1</sup> (ISRAELI et al., 1986). Nenhuma das concentrações estudadas chegou próximo da faixa 3,0 dS.m<sup>-1</sup> citada por Israeli, et al., (1986). No entanto, (DOOREMBOS & KASSAN, 1983; SILVA, 2002; ABREU et. al., 1982), afirmam que a bananeira necessita de solos com CEes <1,0 dS.m<sup>-1</sup>. Baseados esses últimos autores, deve-se ter cautela com a concentração de 4,0 g.L<sup>-1</sup>, que resultou em valores de CEes maiores que 1,0 dS.m<sup>-1</sup>, em boa parte do ciclo da cultura para os dois sistemas de irrigação.



**Figura 1.** Valores de condutividade elétrica do extrato de saturação (1a e 1b), solução do solo (1c e 1d), para a fertirrigação com uréia em dois sistemas.

## Condutividade elétrica da solução do solo e extrato de saturação com aplicação de nitrato de cálcio via água de irrigação

Não houve diferença entre as médias das condutividades elétricas do extrato de saturação para os dois sistemas de irrigação, fixando-se a concentração do nitrato na água de irrigação (Tabela 2). O mesmo ocorreu para as médias da condutividade elétrica da solução do solo, exceto para a concentração de 13,0 g.L<sup>-1</sup>. Apesar da não diferença estatística entre as médias das condutividades elétricas dos dois sistemas de irrigação, os valores absolutos foram superiores para a irrigação por gotejamento. Isso se explica pelo menor volume de solo molhado, onde a aplicação dos fertilizantes é mais pontual, resultando em uma maior concentração em relação à microaspersão.

As médias de CEes para a concentração de 3,5 g.L<sup>-1</sup> diferiu das médias correspondentes a 10,0 e 13,0 g.L<sup>-1</sup>, que não diferiram entre si para os sistemas de microaspersão e gotejamento. As médias de CEs se comportaram de forma diferente conforme o sistema de irrigação. Em geral as médias sob concentração de 13,0 g.L<sup>-1</sup> foram as mais altas seguidas pelas sob concentração de 10,0 g.L<sup>-1</sup>. As menores médias foram correspondentes a concentração de 3,5 g.L<sup>-1</sup>.

**TABELA 2.** Médias de condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e da solução do solo (CEs), em sistema de gotejamento e microaspersão fertirrigados com Nitrato de Cálcio.

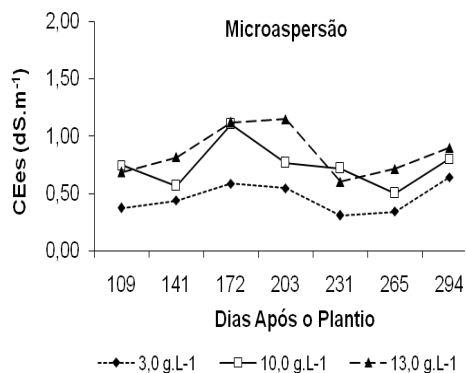
| Concentração de Nitrato de cálcio | CEes (dS.m <sup>-1</sup> ) |           | CEs (dS.m <sup>-1</sup> ) |           |
|-----------------------------------|----------------------------|-----------|---------------------------|-----------|
|                                   | Micro                      | Gotejo    | Micro                     | Gotejo    |
| 3,5 g.L <sup>-1</sup>             | 0,4616 Aa                  | 0,5626 Aa | 0,5881 Aa                 | 0,7277 Aa |
| 10,0 g.L <sup>-1</sup>            | 0,7433 Ab                  | 0,8136 Ab | 0,7867 Ab                 | 0,8303 Aa |
| 13,0 g.L <sup>-1</sup>            | 0,8544 Ab                  | 0,9513 Ab | 0,8228 Ab                 | 1,3584 Bb |

\*Letras maiúsculas comparam os sistemas de irrigação em cada concentração. As minúsculas na coluna comparam as concentrações de sais na água de irrigação.

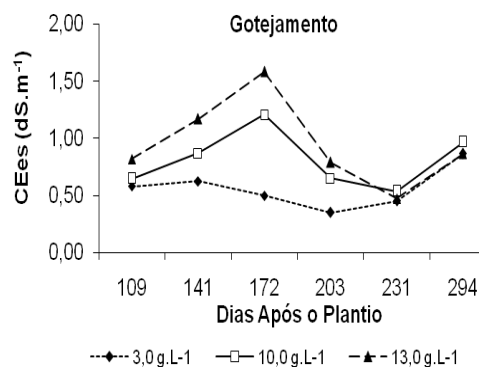
Observou-se para ambos os sistemas que em média a CEes correspondeu a 75% da CEs. Esses resultados foram diferentes dos encontrados para a aplicação de uréia. Nesse caso a CEs foi em termos de média maior que CEes.

A Figura 2 mostra o comportamento da condutividade elétrica obtida do extrato de saturação do solo (CEes), da solução do solo (CEs) ao longo do primeiro ciclo da bananeira da Terra sob aplicação de nitrato de cálcio via irrigação. Não se observou tendência de elevação ou redução em qualquer das modalidades da condutividade elétrica avaliadas. Os valores das condutividades foram superiores para a concentração de  $13,0 \text{ g.L}^{-1}$  seguido pelos valores de  $10,0$  e  $3,5 \text{ g.L}^{-1}$ . A condutividade elétrica da solução do solo (CEs) esteve acima de  $1,0 \text{ dS.m}^{-1}$  em pelo menos 80% das medidas feitas no sistema de gotejamento e a CEes esteve acima de  $1,0 \text{ dS.m}^{-1}$  em pelo menos 20% das medidas tanto na microaspersão, como no gotejamento para a concentração da água de irrigação de  $13,0 \text{ g.L}^{-1}$ . Sendo assim, a utilização de  $13,0 \text{ g.L}^{-1}$  de nitrato de cálcio deve ser ponderada, pois apresenta risco de elevação da salinidade do solo, podendo causar prejuízos à cultura.

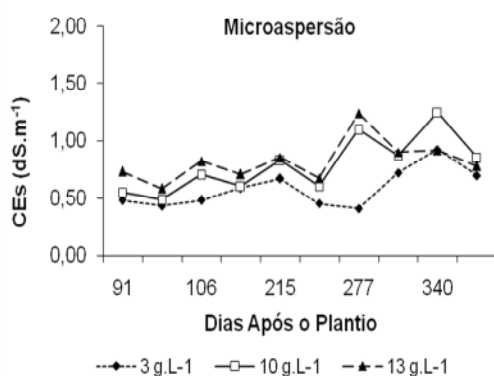
Observou-se que a concentração de  $10,0 \text{ g.L}^{-1}$  pode ser utilizada, pois não provocou valores de CEes e nem de CEs próximos da faixa crítica de condutividade elétrica recomendada para o cultivo da bananeira relatada por Silva (2002), tendo resultado em valores de condutividade elétrica do extrato de saturação e da solução do solo abaixo da faixa crítica de  $1,1 \text{ dS.m}^{-1}$  relatada por Oliveira, (1999) para cultivo da bananeira. Outro ponto a ser ressaltado é que maiores concentrações na solução injetora são mais práticas de serem manejadas em campo, visto que a quantidade de água necessária à solução é menor do que a utilizada na com baixas concentrações, reduzindo o tempo da fertirrigação. As concentrações de  $10,0 \text{ g.L}^{-1}$  e  $13,0 \text{ g.L}^{-1}$ , são valores elevados se comparados com Coelho et al., (2002), que sugeriram concentrações entre 500 e  $1500 \text{ mg.L}^{-1}$  para a solução aplicada. Oliveira et al., (2000), relatam que não há uma recomendação padrão para a concentração dos nutrientes na solução nutritiva, mas ressalta que tais valores não devem ser superiores a  $700 \text{ mg.L}^{-1}$ , devendo ficar entre  $200 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $400 \text{ mg.L}^{-1}$ , principalmente para os sistemas de gotejamento.



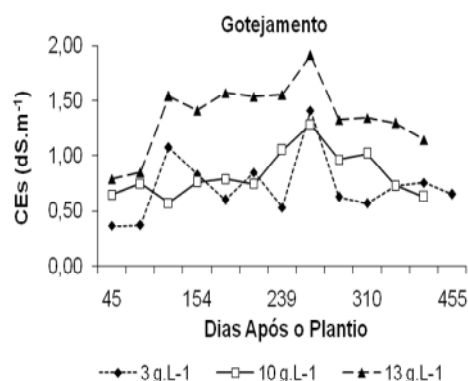
(2a)



(2b)



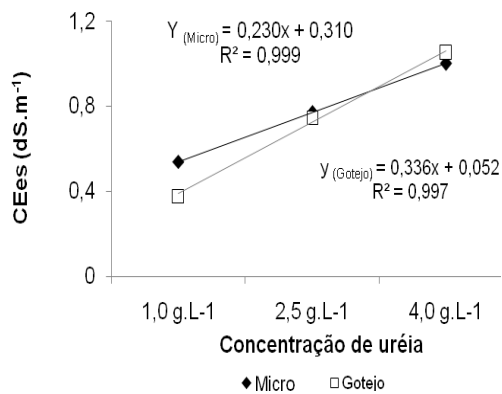
(2c)



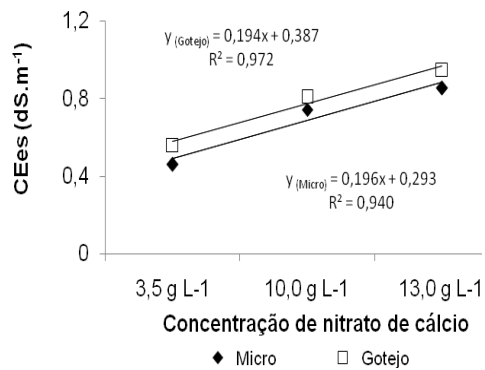
(2d)

**Figura 2.** Valores de condutividade elétrica do extrato de saturação (2a e 2b), solução do solo (1c e 1d) e no extrato de saturação (2e e 2f), para a fertirrigação com nitrato de cálcio em dois sistemas.

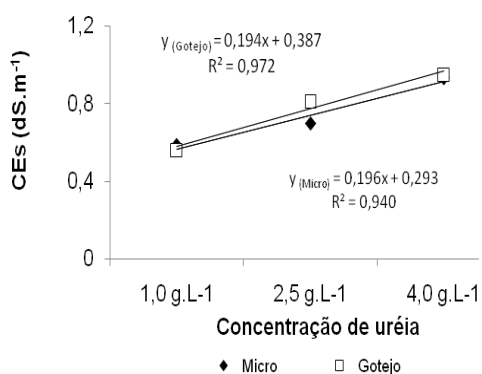
Na Figura 3 pode-se observar em termos de média que houve uma tendência linear de aumento na condutividade elétrica do extrato de saturação (3a uréia e 3b NC), e na solução do solo (3c e 3d). Na CEEs, observa-se para a uréia em termos de média, um coeficiente de correlação de 0,999 e 0,997 para os sistema de gotejamento e microaspersão. Para a aplicação de nitrato de cálcio esses valores ficaram acima de 0,94 para os sistemas. No que se refere à condutividade elétrica da solução do solo, os tratamentos com uréia e nitrato de cálcio apresentaram  $R^2$  acima de 0,94.



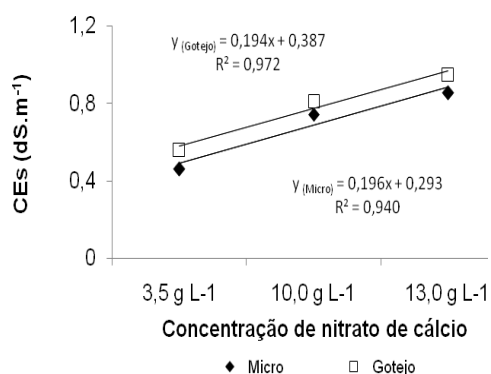
(3a)



(3b)



(3c)



(3d)

**Figura 3.** Variação de CE com aumento da concentração salina, no extrato de saturação com uréia e nitrato de cálcio (3a e 3b) e na solução do solo (3c e 3d).

## CONCLUSÕES

Houve efeito da concentração de fertilizantes na água de irrigação nas médias da condutividade elétrica do extrato de saturação e da solução do solo com a fertirrigação operada pelo sistema de gotejamento e de microaspersão.

Houve uma tendência linear de elevação da condutividade elétrica do extrato de saturação e da solução do solo com o aumento da concentração da uréia e do nitrato de cálcio na água de irrigação.

O uso das concentrações da água de irrigação de 4,0 g.L<sup>-1</sup> e de 13,0 g.L<sup>-1</sup> resultantes de soluções de injeção de uréia e de nitrato de cálcio, respectivamente, resultaram em CEs e CEes superiores a 1,1 dS.m<sup>-1</sup>, em pelo menos 33% do ciclo da cultura para os sistemas de gotejamento e de microaspersão na bananeira terra.

A uréia e o nitrato de cálcio podem ser usados em concentrações de até 2,5 e 10,0 g.L<sup>-1</sup>, respectivamente na água de irrigação sem causar elevações na condutividade elétrica do extrato de saturação e da solução do solo acima do valor considerado adequado a cultura de 1,1 dS.m<sup>-1</sup>.

Houve diferenças estatísticas de CEes e CEs entre os sistemas de irrigação utilizados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, H. J. M.; MASCRELL, J.; DUART, S.; SOCORRO, A. R. Na and Cl content in banana plants of the Canaria Islands. *International Banana Nutrition Newsletter, Nedlands*, v.15, n.5, p.13- 14, 1982.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. (1985). "**Water quality for agriculture**" Roma: FAO, Irrigation and Drainage Paper, 29, Rev.1, 174 p.

AYERS, R. S. Quality of irrigation water. *Journal of Irrigation Drainage*, v.103, p.135-154, 1977.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Qualidade de água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.

BLANCO, F. F. **Tolerância do pepino enxertado à salinidade em ambiente protegido e controle da salinização do solo**. 1999. 104 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1999.

BORELLA, J. E. **Efeito da irrigação com água salina e da lâmina de lixiviação na produção de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) e na salinização do solo**. 1986. 82 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1986.

CAMINHA JUNIOR, I. C.; SERAPHIM, O. J.; GABRIEL, L. R. A. Caracterização de uma área agrícola irrigada com efluente agroindustrial, através de análises químicas e da resistividade do solo. *Energia na Agricultura*, Botucatu, v.13, n.4, p.40-54, 2000.

COELHO, E. F. Calculo e preparo da solução de fertilizantes. In: BORGES, ANA LUCIA; COELHO, Eugênio Ferreira; TRINDADE, Aldo Vilar. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas, 2002, v. 1, p. 54-67.



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. **Anais...** Lavras: UFLA, 1998. v. 1, p. 43-45.

DIAS, N. da S.; MEDEIROS, J. F. de.; GHEYI, H. R.; SILVA, F. V.; BARROS, A. D. Evolução da salinidade em um Argissolo sob cultivo de melão irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. vol.8 no.2-3 Campina Grande May/Dec. 2004.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. Yeld response to water. Rome: FAO, 1983. 193 p. Irrigation and Drainage Paper, 33.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solo, 1997. 212 p.

GERVÁSIO, E. S.; CARVALHO, J. A.; SANTANA, M. J. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção da alface americana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 125-128, 2000.

ISRAELI, Y.; LAHAY, E.; NAMERI, N. The effect of salinity and sodium adsorption ratio in the irrigation water on growth and productivity of bananas under drip irrigation conditions. **Fruits**, v.41. p.297-302, 1986.

MAIA, P. C. S. **Fertirrigação por sistema de irrigação por aspersão convencional na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Piracicaba, 1989. 80p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MAAS, E. V. Salt tolerance of plants. In: CHRISTIE, B.R. **The handbook of plant science in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1984.

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, v.103, p.115-134, 1977.

MARINHO, F. J. L.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R. Desenvolvimento inicial do abacaxizeiro, cv. Smooth Cayenne, sob diferentes condições de salinidade da água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 1-5, 1998.

MEDEIROS, J. F. DE.; GHEYI, H. R. **Manejo do sistema solo-água-planta em solos afetados por sais**. In: Gheyi, H.R.; Queiroz, J.E.; Medeiros, J.F. de (eds.). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. cap. 8, p. 239-284.

MUÑOZ-CARPENA, R.; REGALADO, C. M.; ALVAREZ-BENEDÍ, J.; SOCORRO, A. R.; PÉREZ, N. **Determinación simultánea mediante TDR del transporte de agua y un soluto salino em el suelo**. In: LÓPEZ, J.J.; QUEMADA, M. (Ed.). *Temas de Investigación en Zona no Saturada*. Pamplona: Universidade Pública de Navarra, 2001. p.1-7.

OLIVEIRA, I. E. de A.; BORGES, A. L.; SILVA, S. de O. Teores de nutrientes e produtividade em genótipos de bananeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 16., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBF, 2000 a. 1 CD ROM.

OLIVEIRA, S. O. de; ALVES, E. J.; SHEPHERD, K.; DANTAS, J. L. L. Cultivares. In: ALVES, E. J. (Org.) A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais. 2.ed., Brasília: Embrapa-SPI / Cruz das Almas: Embrapa-CNPMPF, 1999, p.85-105

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160p. USDA Agricultural Handbook, 60.

RHOADES, J. D., KANDIAH, A. & MASHALI, A. M. The use of saline waters for crop production. Rome: FAO, 1992. 133p. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48

RHOADES, J. D.; OSTER, J.D. Solute content. In: KLUTE, A. (Ed.) *Methods of soil analysis*. 2.ed. Part 1. Agronomy. Madison: ASA/SSSA, 1986. p.995-1006.

SANTANA, G. DA S., COELHO, E. F., SILVA, T. S. M. da, RAMOS, M. M. Estimativa da condutividade elétrica da solução do solo a partir do teor de água e da condutividade elétrica aparente do solo. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.26, n.3, p.672-685, set./dez. 2006.

SANTOS, G. R. **Crescimento da bananeira nanica (*Musa sp.*) sob diferentes qualidades de água de irrigação**. 1990. 78 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

SILVA, L. B.; OLIVEIRA, L. F. C. de; NASCIMENTO, J. L. do. Estimativa da demanda suplementar de irrigação da banana (*Musa Sp.*) para diferentes épocas de plantio em Goiânia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17., 2002, Belém. **Anais...** Belém: SBF, 2002. 1 CD ROM

SOUZA, M. R. de. **Comportamento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. CV Eriparza) submetido a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação**. 1995. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

TANJI, K.K.(Ed.) **Agricultural salinity assessment and management**. New York: ASCE, 1990. 610p. (Manuals and Reports of Engineering Practices, 71).

TOMÉ JR, J.B. *Manual para interpretação de análise de solo*. Curitiba: Editora Guaíba Agropecuária, 1997. 247 p.

THREADGILL, E. D.; EISENHAUER, D. E.; YOUNG, J. R. & BAR – YOSEF, B. Chemigation. IN: HOFFMAN, G. J.; HOWELL, T. A.; SOLOMON, K. H., ed.

*Management of farm irrigation systems*. St. Joseph: ASAE, 1990. v.20, p. 749-775.

VIEIRA, R. F.; COSTA, E. L.; RAMOS, M. M. Escolha e manejo de fertilizantes na fertirrigação de bananeiras. In: SIMPÓSIO NORTE MINEIRO SOBRE A CULTURA DA BANANA, 1., 2001, Nova Porteirinha. **Anais...** Montes Claros: Ed. Unimontes, 2001. P.203-217.

## **CAPITULO 2**

**EFEITO DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE NITRATO DE CÁLCIO E URÉIA DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NO TEOR DE NITRATO DA SOLUÇÃO DO SOLO CULTIVADO COM BANANEIRA TERRA.**

## **EFEITO DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE NITRATO DE CÁLCIO E URÉIA DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NO TEOR DE NITRATO DA SOLUÇÃO DO SOLO CULTIVADO COM BANANEIRA TERRA.**

Autor: Torquato Martins de Andrade Neto

Orientador: Eugênio Ferreira Coelho

**RESUMO:** A Fertirrigação possibilita total controle da quantidade de fertilizantes que devem ser aplicados conforme a demanda das culturas. Este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da concentração de nitrato de cálcio e uréia na água de irrigação aplicada por gotejamento e microaspersão no teor de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo em duas profundidades da zona radicular da bananeira da Terra. O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado, com doze tratamentos e três repetições, com seis plantas por parcela. Os tratamentos consistiram no uso de três concentrações (1,0; 2,5 e 4,0  $\text{g.L}^{-1}$ ) de uréia, e também três concentrações (3,5; 10,0 e 13,0  $\text{g.L}^{-1}$ ) de nitrato de cálcio na água de irrigação, aplicadas por dois sistemas de irrigação localizada, microaspersão e gotejamento durante o primeiro ciclo da cultura. À medida que se aumentou a concentração das fontes nitrogenadas aplicadas via água de irrigação, aumentou significativamente o teor de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo, com máximos para as concentrações de 4,0 e 13,0  $\text{g.L}^{-1}$ , de uréia e nitrato de cálcio. As concentrações aplicadas com uso da uréia (até 4,0  $\text{g.L}^{-1}$ ) e com nitrato de cálcio em concentrações até 10,0  $\text{g.L}^{-1}$  não apresentaram tendência de lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  entre 0,20m e 0,40m de profundidade do solo.

**Palavras-Chave:** Fertirrigação,  $\text{NO}_3^-$ , Solução do solo.

## **EFFECT OF DIFFERENT CONCENTRATION OF CALCIUM NITRATE AND UREA OF IRRIGATION WATER ON THE NITRATE OF THE SOLUTION OF A SOIL WITH BANANA CV TERRA**

Author: Torquato Martins de Andrade Neto

Adviser: Eugênio Ferreira Coelho

**ABSTRACT:** Fertirrigation enables total control of amount of fertilizer to be applied according to crop demands. This work aims to evaluate the effect of calcium nitrate and urea concentration in irrigation water applied by drip and microsprinkler on nitrate concentration in the soil solution in two root depths of banana cv Terra. The experiment followed a completely randomized design with twelve treatments and three replications with six plants per plot. Treatments regarded for using three urea concentrations (3,5; 10,0 e 13,0 g.L<sup>-1</sup>) and three calcium nitrate concentrations (3,5; 10,0 e 13,0 g.L<sup>-1</sup>) in irrigation water applied by two trickle irrigation systems (microsprinkler and drip) during the first cycle of the crop. The concentration of nitrate in soil solution increased with the concentration of the nitrogen sources in irrigation water. Maximums of nitrate concentrations were observed for concentrations of 4,0 and 13,0 g L<sup>-1</sup>, of urea and calcium nitrate. Concentrations up to 4,0 g.L<sup>-1</sup> of urea and up to 10,0 g.L<sup>-1</sup> of calcium nitrate did not show tendency for nitrate leaching in between 0,20m and 0,40m soil depth.

**Key words:** Fertirrigation, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Soil solution.

## INTRODUÇÃO

Entende-se por fertirrigação a aplicação dos elementos nutritivos necessários aos cultivos juntamente com a água de irrigação. A fertirrigação é uma prática usada em larga escala e tem grande aceitação pelos produtores, dada à economia de mão-de-obra e de energia, eficiência de uso, economia, flexibilidade de aplicação parcelada de fertilizantes e melhor utilização dos equipamentos de irrigação (VITTI et al., 1995).

A Fertirrigação possibilita total controle da quantidade de fertilizantes que devem ser aplicados conforme a demanda das culturas. Desta forma espera-se aplicar ao solo quantidades adequadas que mantenham o equilíbrio iônico esperado. Entretanto, se a fertirrigação for aplicada indevidamente pode ocorrer excessos temporários de sais no solo com repercussão nos atributos químicos do mesmo.

O uso de forma não racional de fertilizantes provoca perdas de nutrientes causadas pela lixiviação. Isso para o agricultor tem significativa importância, devido à aplicação excessiva e gerar baixas eficiências de utilização de nutrientes pelas culturas. A lixiviação dos íons através do perfil do solo é uma das principais causas de perdas de nutrientes, e contribui sensivelmente para a acidificação do solo, o que indica a necessidade de adotar um manejo de água e nutrientes com bastante critério.

Um dos nutrientes mais aplicados via fertirrigação é o nitrogênio. Esse apresenta grande mobilidade no solo principalmente na forma de nitrato (BORGES et al, 2002). As fontes nitrogenadas mais aplicadas são a uréia e o sulfato de amônio (BARBOSA FILHO et al., 2004). O nitrato constitui-se uma das formas inorgânicas do nitrogênio no solo e, juntamente, com o amônio, constitui o produto final da mineralização do nitrogênio orgânico. O fato de não ser adsorvido pelas partículas do solo, que geralmente apresentam carga elétrica líquida negativa, permanece com livre movimentação na solução do solo. A lixiviação de nitrato é considerada como a principal perda do nitrogênio disponível às plantas (ERREBHI et al., 1998; REICHARDT, 1990). A lixiviação do nitrato pode elevar os índices desse íon nos lençóis freáticos cuja água poderá ser usada para consumo humano ou fluir para os mananciais. Nesse sentido, pelo fato de ser o



nitrogênio um nutriente utilizado em larga escala, o seu constante monitoramento torna-se imprescindível com vistas a manter os níveis desses íons no solo em uma faixa aceitável e sustentável.

A avaliação da condição iônica da solução do solo gerada pela irrigação localizada ainda tem sido pouco estudada e é normalmente realizada por meio de amostragens por extratores de solução do solo. O monitoramento dos íons no solo deve ser feito para avaliar a fertirrigação e deve envolver o acompanhamento da aplicação dos fertilizantes, observando a concentração da solução de injeção, concentração da solução final na saída dos emissores, uniformidade de distribuição ao longo da área e distribuição dos nutrientes no perfil do solo (SOUZA & COELHO, 2001).

Em função de ser a fertirrigação uma técnica que permite alterações rápidas e precisas na quantidade de adubos aplicados, o monitoramento passa a ser ferramenta de extrema importância por possibilitar, ainda durante o ciclo da cultura, ajustes necessários na quantidade de fertilizantes aplicados e evitar flutuações das quantidades de sais na solução do solo (LANDIS, 1989).

Este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da concentração de nitrato de cálcio e uréia na água de irrigação aplicada por gotejamento e microaspersão no teor de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo em duas profundidades da zona radicular da bananeira da Terra.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em um campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, em Cruz das Almas cidade, Estado da Bahia. O clima é classificado como úmido a sub-úmido com 1.143 mm de chuva por ano (D'ANGIOLELLA et al., 1998).

Foi instalado um experimento no delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 6 x 2, seis adubações (três doses de uréia 1,0; 2,5 e 4,0 g.L<sup>-1</sup> e três doses de nitrato de cálcio 13,0; 10,0 e 3,0 g L<sup>-1</sup>) e dois sistemas de irrigação localizada (microaspersão e gotejamento), totalizando 12 tratamentos. As repetições foram obtidas com 10 avaliações ao longo do tempo durante o primeiro ciclo da cultura. A parcela experimental foi representada por 20 plantas de bananeira 'Terra', totalizando 240 plantas em fileiras simples de 3,00m x 2,50m, com área total do experimento de 0,10 ha. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste t em nível de 5% de probabilidade.

O sistema de microaspersão foi constituído de um microaspersor para cada quatro plantas com vazão de 43,0 L.h<sup>-1</sup>. O gotejamento envolveu uma linha lateral de irrigação por fileira de plantas, com três emissores de 4,0 L.h<sup>-1</sup> por touceira de plantas. A lâmina de irrigação de reposição de água entre duas irrigações foi calculada pela evapotranspiração da cultura estimada pela evaporação obtida pelo método do "tanque classe A".

A uréia e o nitrato cálcio foram utilizados como fonte de nitrogênio e cloreto de potássio como fonte de potássio na fertirrigação. Eles foram aplicados numa frequência semanal. Para cálculo da quantidade de fertilizante e do volume da solução injetora seguiu-se recomendações de BORGES et al. (2007), tendo sido utilizada a equação 1 (COELHO, 2002) para calculo do volume da solução (v) e a concentração da solução injetora:

$$v = \frac{M \cdot Q_s \cdot C_n}{Q_f \cdot C_f} \quad (1)$$

Onde:

M = massa do fertilizante (fonte do nutriente) (g);

Qs = vazão do dispositivo de injeção da solução fertilizante no sistema de irrigação ( $L \cdot h^{-1}$ );

C<sub>n</sub> = concentração do nutriente no fertilizante;

Qf = vazão da linha de irrigação ( $L \cdot h^{-1}$ );

Cf = concentração do nutriente na saída dos emissores ( $g \cdot L^{-1}$ ).

Foram coletadas amostras da solução injetora no tanque de solução e na saída dos emissores ao longo das linhas laterais, durante os eventos da fertirrigação. Os tempos médios de fertirrigação aplicada pela microaspersão foram de 20 minutos; 33 minutos e 1 hora e 20 minutos, para respectivamente as concentrações de 4,0; 2,5 e 1,0  $g \cdot L^{-1}$  para uréia e 13,0; 10,0 e 3,0  $g \cdot L^{-1}$  para o nitrato de cálcio.

No sistema de gotejamento, os tempos médios de fertirrigação foram os seguintes: 14 minutos; 24 minutos e 58 minutos, para respectivamente as concentrações de 4,0; 2,5 e 1,0  $g \cdot L^{-1}$  para uréia e 13,0; 10,0 e 3,0  $g \cdot L^{-1}$  para o nitrato de cálcio.

Amostras de solução do solo foram coletadas a cada 15 dias em cada parcela com três repetições, com uso de extratores de solução (Figura 1), que foram instalados radialmente ao microaspersor a 0,30m da planta nas profundidades de 0,20 e 0,40m. No caso do gotejamento foram instalados extratores de solução a 0,30m da planta entre a planta e um gotejador a uma distancia fixa do mesmo de 0,15 m em duas profundidades (0,20 e 0,40m) e três repetições, ficando os extratores localizados no bulbo molhado entre dois emissores.

Os extratores de solução foram lavados em laboratório com água deionizada entre uma coleta e outra. Eles foram devidamente instalados no campo e em seguida foi realizada uma sucção de  $-70$  kPa com uma bomba de vácuo, com retiradas da solução do solo duas horas depois. As amostras foram conduzidas ao laboratório de irrigação e Fertirrigação da Embrapa Mandioca e Fruticultura onde foram feitas as leituras de  $\text{NO}_3^-$  em um equipamento de avaliação rápida de nitrato (Card Horiba).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando se trata de fixar a fonte nitrogenada e variar os sistemas de irrigação, percebe-se que houve diferença entre as médias das concentrações de sais na água de irrigação com a aplicação de uréia tanto na microaspersão quanto no gotejamento, comportamento observado para as duas profundidades estudadas. À medida que se aumentou a concentração da uréia na água de irrigação, se aumentou significativamente o teor de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo. As médias sob concentração de  $4,0 \text{ g.L}^{-1}$  foram estatisticamente superiores às demais (Tabela 1). Este resultado foi reportado também por Li, et al., (2003) que trabalharam com diferentes concentrações de nitrato na água de irrigação. Segundo esses autores, a concentração de nitrato na solução do solo foi afetada diretamente pela concentração da solução injetora.

A camada de 0,20m apresentou em termos gerais maiores concentrações de  $\text{NO}_3^-$  em comparação com a camada de 0,40m, indicando não ter havido lixiviação do íon no perfil do solo, tanto para a microaspersão quanto para o gotejamento. A lixiviação de nitrato é um fenômeno físico, favorecido pela baixa energia envolvida na sua adsorção às partículas do solo e também pela sua alta solubilidade em água (CERETTA, 1997).

**TABELA 1.** Médias de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo nas profundidades de 0,20 e 0,40m, em sistema de gotejamento e microaspersão fertirrigados com uréia.

| Concentração de uréia  | $\text{NO}_3^- \text{ mg.L}^{-1}$ (0,20 m) |           | $\text{NO}_3^- \text{ mg.L}^{-1}$ (0,40 m) |           |
|------------------------|--|-----------|--|-----------|
|                        | Gotejo                                     | Micro     | Gotejo                                     | Micro     |
| $1.0 \text{ g.L}^{-1}$ | 137,50 Aa                                  | 115,00 Ba | 154,45 Aa                                  | 142,56 Aa |
| $2.5 \text{ g.L}^{-1}$ | 234,33 Ab                                  | 214,63 Bb | 164,27 Ab                                  | 145,89 Ba |
| $4.0 \text{ g.L}^{-1}$ | 344,44 Ac                                  | 312,50 Bc | 209,00 Ac                                  | 237,00 Bb |

\*Letras maiúsculas comparam as fontes nitrogenadas em cada profundidade. As minúsculas na coluna comparam as concentrações de sais na água de irrigação.

Houve diferença estatística entre as medias das concentrações de  $\text{NO}_3^-$  dos sistemas de irrigação nas duas profundidades ( $P < 0,05$ ), sendo que o gotejamento apresentou maiores valores de concentração de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo em ambas as profundidades para todas as concentrações de uréia aplicadas na água de irrigação. Isso se deve ao menor volume molhado sob gotejamento, o que

condiciona um maior volume de água por volume de solo, em relação a microaspersão, além de se esperar maior concentração radicular nesses volumes molhados. Deve-se ater, também ao fato de a aplicação de água e fertilizantes ser feita de forma mais uniforme e com maior frequência nesse sistema de irrigação, (SOUZA, et al., 2005).

Houve diferenças estatísticas entre as médias das concentrações de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo para as concentrações do nitrato de cálcio na água de irrigação tanto nos sistema de microaspersão quanto no gotejamento (Tabela 2). Isso para as duas profundidades estudadas. À medida que aumentou a concentração, aumentou significativamente o teor de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo, sendo que as médias das concentrações de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo sob aplicação de  $13,0 \text{ g.L}^{-1}$  de nitrato de cálcio na água de irrigação foram superiores estatisticamente as demais sob aplicação de  $3,0$  e  $10,0 \text{ g.L}^{-1}$ .

Houve diferença estatística entre os sistemas estudados nas duas profundidades ( $P < 0,05$ ), sendo que a microaspersão apresentou maiores valores absolutos de teor de  $\text{NO}_3^-$  em ambas as profundidades para todas as concentrações. Uma possível justificativa para isso pode ser devido ao fato de que com a aplicação de nitrato de cálcio, o íon  $\text{NO}_3^-$  encontra-se na solução do solo mais prontamente disponível as raízes da planta numa condição de maior volume de água por volume molhado de solo sob gotejamento sendo absorvido mais eficientemente em relação à microaspersão, onde o volume de água por volume de solo é menor, o que implica em menor disponibilidade da solução do solo para as raízes, menor extração do  $\text{NO}_3^-$  e maior concentração do mesmo.

**TABELA 2.** Médias de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo nas profundidades de 0,20 e 0,40m, em dois sistemas de fertirrigação com nitrato de cálcio.

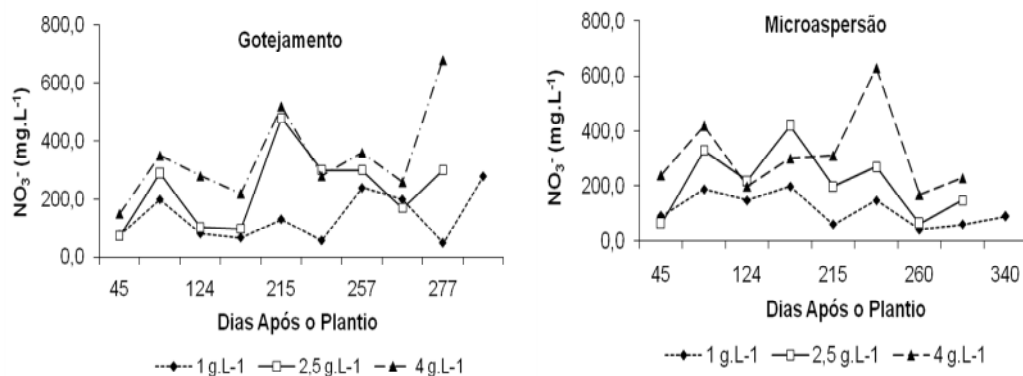
| Concentração de nitrato de cálcio | $\text{NO}_3^- \text{ mg.L}^{-1}$ (0.20 m) |           | $\text{NO}_3^- \text{ mg.L}^{-1}$ (0.40 m) |           |
|-----------------------------------|--|-----------|--|-----------|
|                                   | Gotejo                                     | Micro     | Gotejo                                     | Micro     |
| $3.0 \text{ g.L}^{-1}$            | 163,58 Aa                                  | 159,73 Ba | 110,73 Aa                                  | 153,33 Ba |
| $10.0 \text{ g.L}^{-1}$           | 195,62 Ab                                  | 241,36 Bb | 225,00 Ab                                  | 231,11 Bb |
| $13.0 \text{ g.L}^{-1}$           | 308,46 Ac                                  | 352,91 Bc | 331,82 Ac                                  | 450,00 Bc |

\*Letras maiúsculas comparam as fontes nitrogenadas em cada profundidade. As minúsculas na coluna comparam as concentrações de sais na água de irrigação.

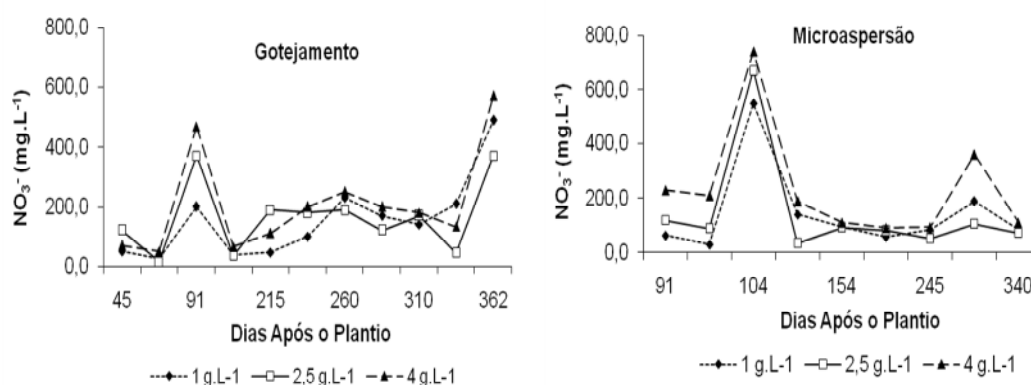
Foi observado um maior incremento de  $\text{NO}_3^-$  na camada de 0,40m para os dois sistemas, o que pode ser explicado pelo fato de o nitrato de cálcio ser muito solúvel em água e se encontrar na forma facilmente assimilável pelas plantas não sofrendo reações como ocorre com a uréia, em concordância com Kaiser, (2006), segundo o qual, o nitrato encontra-se predominantemente na forma livre na solução do solo e seu movimento ocorre por fluxo de massa, seguindo o fluxo da água no solo.

Houve, na camada de 0,20m, um incremento em termos gerais de 145,0  $\text{mg.L}^{-1}$  de nitrato na solução do solo do tratamento de 3,0  $\text{g.L}^{-1}$  para o de 13,0  $\text{g.L}^{-1}$  no gotejamento. Essa variação foi ainda maior na microaspersão, onde ocorreu um aumento de 190,0  $\text{mg.L}^{-1}$ . Na camada de 0,40m, apesar dos menores valores absolutos dos teores de nitrato, os incrementos observados entre os dois tratamentos foram maiores, isto é, cerca de 220,0  $\text{mg.L}^{-1}$  e 300,0  $\text{mg.L}^{-1}$  para respectivamente os sistemas de gotejamento e microaspersão. Li, et al., (2003), utilizando diferentes concentrações de fertilizante nitrogenado, observaram os seguintes teores de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo: 390,0; 790,0; 1020,0 e 1550,0  $\text{mg.L}^{-1}$  referentes as seguintes concentrações na água de irrigação 100,0; 300,0; 500,0 e 700,0  $\text{mg.L}^{-1}$ , esse autor verificou incrementos na faixa de 230,0 a 1200,0  $\text{mg.L}^{-1}$  a medida que aumentou a concentração do fertilizante na água de irrigação.

Na Figura 1 são ilustrados os teores de  $\text{NO}_3^-$  na solução solo, obtidos na fertirrigação por microaspersão e gotejamento com aplicação de uréia ao longo do ciclo da cultura, em duas profundidades. Observou-se uma elevação nos teores de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo à medida que se aumentou a concentração da uréia na água de irrigação.



(1a)



(1b)

**Figura 1.** Teores de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo na profundidade de 0,20m (1a) e 0,40m (1b), em fertirrigação com uréia aplicada em dois sistemas.

A Figura 2 mostra os teores de  $\text{NO}_3^-$  na solução solo, obtidos na fertirrigação por microaspersão e por gotejamento com aplicação de nitrato de cálcio ao longo do ciclo da cultura nas duas profundidades estudadas. Da mesma forma que no caso da aplicação de uréia, ocorreu uma elevação nos teores de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo à medida que se aumentou a concentração do adubo na água de irrigação. De modo geral, os valores de  $\text{NO}_3^-$  foram superiores para a concentração de  $13,0 \text{ g.L}^{-1}$  seguido pelos valores de  $10,0$  e  $3,0 \text{ g.L}^{-1}$  nas profundidades estudadas em ambos os sistemas.

Não houve tendência definida de elevação ou redução da concentração de nitrato na solução do solo com o tempo para qualquer das concentrações de uréia e nitrato de cálcio ao longo do ciclo da cultura, tanto na microaspersão quanto no gotejamento. Para os tratamentos com uréia em termos de média os teores de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo variaram de  $137,5$  a  $344,4 \text{ mg.L}^{-1}$  no sistema de



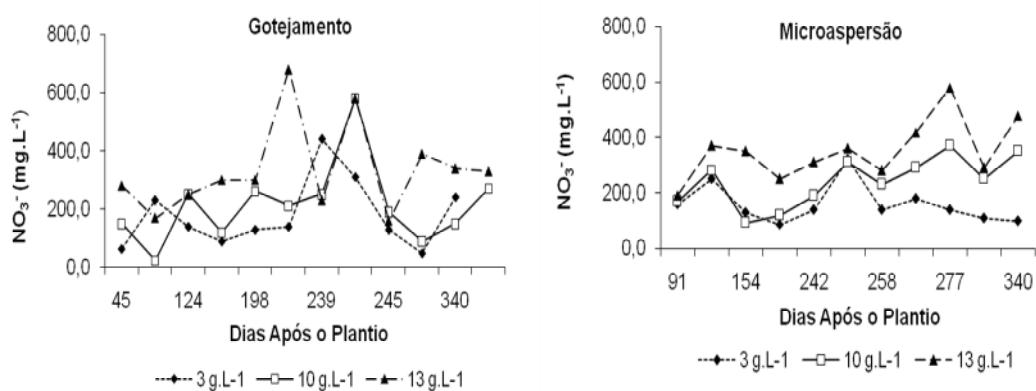
gotejamento e de 115,0 a 312,5 mg.L<sup>-1</sup> para a microaspersão, na camada de 0,20m. Na camada de 0,40m, as variações foram de 154,4 a 209,0 e 142,5 a 277,0 mg.L<sup>-1</sup> respectivamente para o gotejamento e a microaspersão. Para os tratamentos com nitrato de cálcio em termos de média os teores de NO<sub>3</sub> na solução do solo variaram de 163,58 a 308,4 mg.L<sup>-1</sup> no gotejamento e de 159,7 a 352,9 mg.L<sup>-1</sup>, para a camada de 0,20m. Enquanto que na camada de 0,40m, essas variações foram de 110,7 a 331,8 mg.L<sup>-1</sup> e de 153,3 a 450,0 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente para os sistemas de gotejamento e microaspersão. Tais variações aproximam-se das encontradas por Kelling et al., (1977), que observaram teores de nitrato que variaram de 78,0 a 225,0 mg L<sup>-1</sup> em diferentes concentrações de nitrato de amônio aplicadas ao solo. Estas faixas também ficaram próximas da encontrada por Alves et al., (2007), que estudando diferentes combinações de uréia e nitrato de cálcio ao longo da cultura, obtiveram teores de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na solução do solo entre 3,5 e 225,0 mg.L<sup>-1</sup> e ficaram próximas da obtida por KAISER, (2006), que obteve teores de nitrato na solução do solo entre 8 a 226,0 mg.L<sup>-1</sup>. As variações obtidas foram, entretanto superiores a faixa de concentrações encontradas por MONTEIRO (2007), que, estudando a distribuição espacial de íons fertilizantes (nitrato e potássio), utilizando extratores de solução, encontrou valores entre 16,0 e 171,0 mg.L<sup>-1</sup> para um Latossolo Vermelho Amarelo e superiores a faixa de valores dos teores de nitrato obtidos por Cohen et al., (1990), que variaram de 0,1 a 30,0 mg. L<sup>-1</sup>.

As concentrações aplicadas com uso da uréia (até 4,0 g.L<sup>-1</sup>) e com nitrato de cálcio em concentrações até 10,0 g.L<sup>-1</sup> não apresentaram tendência de lixiviação de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, visto que os teores encontrados na camada de 0,20m foram superiores aos encontrados na camada de 0,40m tanto na microaspersão quanto no gotejamento. Entretanto, os valores da concentração de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> encontrados acima de 50,0 mg.L<sup>-1</sup> indicariam possibilidade de lixiviação conforme (MUNOZ-CARPENA R, 2002; EXNER et al., 1991).

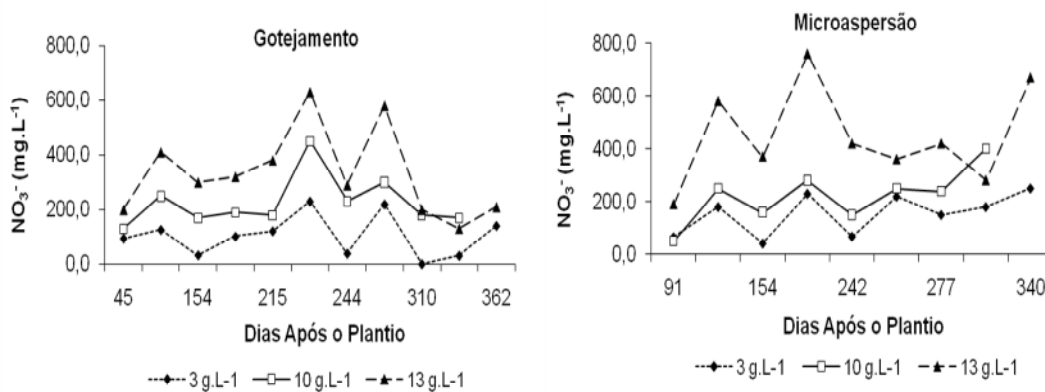
O incremento no teor de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na solução do solo na camada de 0,40m para a aplicação de nitrato de cálcio na concentração de 13,0 g.L<sup>-1</sup> no sistema de microaspersão (Figura 2) pode ser justificado pela lixiviação do íon para a camada em questão. O ânion NO<sub>3</sub><sup>-</sup> originado do nitrato de cálcio se apresenta na forma disponível as plantas não sendo retido pelas micelas do solo, apresentando, por isso, maior potencial de lixiviação em relação à uréia, que quando aplicada ao

solo, passa por transformações em amônio, que é retido pelas micelas do solo e por desnitrificação e nitrificação resultando em nitrato (SILVA & VALE, 2000; VILLAS BOAS, 1999).

A alta mobilidade do nitrato no solo justifica a preocupação em relação ao manejo da adubação nitrogenada em solos agrícolas (VANOTTI & BUNDY, 1994). Percebe-se que devido a isso, um acompanhamento periódico do teor de nitrato no solo torna-se importante no manejo eficiente na fertirrigação.



(2a)



(2b)

**Figura 2.** Teores de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo na profundidade de 0,20m (2a) e 0,40m (2b), em fertirrigação com nitrato de cálcio aplicado em dois sistemas.

## CONCLUSÕES

À medida que se aumentou a concentração das fontes aplicadas via água de irrigação, aumentou significativamente o teor de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo, com máximos para as concentrações de 4,0 e 13,0  $\text{g.L}^{-1}$  de uréia e nitrato de cálcio.

Houve diferença estatística entre os sistemas de irrigação nas duas profundidades, sendo que o gotejamento apresentou maiores valores de concentração de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo em ambas as profundidades para todas as concentrações de uréia na água de irrigação.

As concentrações aplicadas com uso da uréia (até 4,0  $\text{g.L}^{-1}$ ) e com nitrato de cálcio em concentrações até 10,0  $\text{g.L}^{-1}$  não apresentaram tendência de lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  entre 0,20 m e 0,40 m de profundidade do solo.

As concentrações médias de nitrato registradas na camada de 0,20 e 0,40m do solo ficaram entre 115,0 e 344,4  $\text{mg.L}^{-1}$ , para aplicação das diferentes concentrações de uréia. No caso do nitrato de cálcio, essas variações foram de 110,7 a 450,0  $\text{mg.L}^{-1}$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. S.; COELHO, E. F.; LÊDO, C. A. S.; ANDRADE NETO, T. M.; SANTANA, J. A. V.; SANTANA JUNIOR, E. B. Concentração do íon  $\text{NO}_3^-$  no solo sob diferentes combinações de fontes nitrogenadas via fertirrigação em bananeira no segundo ciclo de produção. In: Workshop, Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada, 2007, Recife, PE. **Anais...** Recife-PE: UFRPE e UFCG, 2007.

BARBOSA FILHO, M. P. B.; FAGERIA, N. K; SILVA, O. F. fontes e métodos de aplicação de nitrogênio em feijoeiro irrigado submetido a três níveis de acidez de solo. **Rev. Cien. Agrotec.**, 28:785-792, 2004.

BORGES, A. L.; SOUZA, L. S.; CORDEIRO, MACIEL, Z. J. Atributos químicos dos solos em áreas de produtores vinculados à produção integrada de banana no projeto Formoso, Bahia. In: Seminário Brasileiro sobre Produção Integrada de Frutas, 2007, Bento Gonçalves, RS. **Anais** do IX SBPIF e I SSAPI. Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, 2007. v. 1. p. 122-126.

BORGES, A. L.; COSTA, É. L. Requerimentos de nutrientes para fertirrigação - banana. In: Ana Lúcia Borges; Eugênio Ferreira Coelho; Aldo Vilar Trindade. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. 1a ed. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002, v. único, p. 77-84.

CERETTA, C. A. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia/milho, no sistema de plantio direto. In: FRIES, M.R.; DALMOLIN, R.S.D. **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Pallotti, 1997. p.112-124

COELHO, E. F. Calculo e preparo da solução de fertilizantes. In: BORGES, ANA LUCIA; COELHO, Eugênio Ferreira; TRINDADE, Aldo Vilar. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas, 2002, v. 1, p. 54-67.

COHEN, S. Z.; NICKERSON, S.; MAXEY, R.; DUPUY, A.; SENITA, J.A. Ground water monitoring study for pesticides and nitrates associated with golf courses on Cape Cod. *Ground Water Monitoring Review* 10(1): 160-173, 1990.

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. **Anais...** Lavras: UFLA, 1998. v. 1, p. 43-45.

ERREBHI, M. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. ***Agronomy Journal***, v.90, n.1, p.10-15, 1998.

EXNER, M. E.; BURBACH, M. E.; WATTS, D. G.; SHEARMAN, R. C.; SPALDIND, R. F. Deep nitrate movement in the unsaturated zone of simulated urban lawn. ***Journal Environmental Quality***, n. 20, p. 658-662, 1991.

KAISER, D. R.; BRAGA, F. V. A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; AITA, C. **Lixiviação de nitrato em manejos do solo para cultura do fumo**. RBMCSA, Aracajú. 2006.

KELLING, K. A.; WALSH, L. M.; KEENEY, D. R.; RYAN, J. A.; PETERSON, A. E. A field study of the agricultural use of sewage sludge: II. Effect on soil N and P. ***Journal of Environmental Quality***, v.6, p.345-352, 1977.

LANDIS, T. D. Mineral nutrients and fertirrigation. In: LANDIS, T. D., TINUS, R. W., MCDONALD, S. E., BARNETT J. P. **The container tree nursery manual**, 4. Agric. Handbk.674. Washington, D.C.: Department of Agriculture, Forest Service. 1989, 1-67.

LI, J.; ZHANG, J.; REN, L. Water and nitrogen distribution as affected by fertigation of ammonium nitrate from a point source. ***Irrig Sci*** (2003) 22: 19–30 DOI 10.1007/s00271-003-0064-8.

MONTEIRO, R. O. C. **Influência do gotejamento subterrâneo e do “mulching” plástico na cultura do melão em ambiente protegido.** 2007. 178p. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP. Piracicaba-SP, 2007.

MUNÓZ-CARPENA, R. A.; RITTER, A. R.; SOCORRO, N. P. 2002. Nitrogen evolution and fate in a Canary Islands (Spain) sprinkler fertigated banana plot. *Agric. Water Manage.* 52: 93-117.

REICHARDT, K. Irrigação. In: **A água em sistemas agrícolas.** São Paulo: Manole, 1990. p. 139- 55.

SOUZA, V. F.; COELHO, E. F. Manejo de fertirrigação em fruteiras. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C.; RESENDE, R. S. (Coord.) **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças.** Guaíba:Agropecuária, 2001, p.289-317.

VANOTTI, M. B.; BUNDY, L. G. An alternative rationale for corn nitrogen fertilizer recommendations. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.7, n.2, p.243-249, 1994.

SILVA, C. A.; VALE, F. R.; Disponibilidade de Nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de Nitrogênio. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília – DF, v.35, n.12, p. 2461-2471, dez. 2000.

SOUZA, E. A.; COELHO, E. F.; PAZ, V. P. S.; FILHO, M. A. C. Crescimento e produtividade do mamoeiro fertirrigado com fósforo por gotejamento superficial e subsuperficial. **Rev. Bras. Frutic.** v.27 n.3 Jaboticabal dic. 2005.

VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T.; FERNANDES, D. M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V. (Ed.). **Fertirrigação: citros, flores, hortaliças.** Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 293-319.

VITTI, G. C.; HOLANDA, J. S.; LUZ, P. H. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; BOARETTO, A. E.; PENTEADO, S. R. Fertirrigação: condições e manejo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina, PE. **Anais...** Petrolina: Embrapa - CPATSA/SBCS, 1995. p. 195-271.

## **CAPITULO 3**

**AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE ESTIMATIVA DE POTASSIO EM FUNÇÃO DA UMIDADE, DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE E DA SOLUÇÃO DO SOLO.**

**\* Artigo enviado a Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB).**



## **AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE ESTIMATIVA DE POTASSIO EM FUNÇÃO DA UMIDADE, DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE E DA SOLUÇÃO DO SOLO.**

Autor: Torquato Martins de Andrade Neto

Orientador: Eugênio Ferreira Coelho

**RESUMO:** O uso sustentável dos recursos naturais solo e água em áreas submetidas à fertirrigação carecem do conhecimento da dinâmica dos íons. Este trabalho teve como objetivo avaliar e validar modelos de estimativa da concentração de potássio na solução do solo como função da condutividade elétrica aparente (CEa), da umidade do solo ( $\theta$ ) e da condutividade elétrica da solução do solo (CEw) em condições de campo. Os tratamentos consistiram no uso de três concentrações de cloreto de potássio (1,0; 2,5 e 4,0 g.L<sup>-1</sup>) aplicadas através de dois sistemas de irrigação localizada, microaspersão e gotejamento durante o primeiro ciclo da cultura. Os resultados mostraram que é viável estimar a concentração de K<sup>+</sup> na solução do solo, a partir de dados de  $\theta$  e CEa, obtidos por meio da técnica da TDR, para condições de campo, por meio dos modelos de Vogeler et al., (1996) e potencial adaptados com uma relação entre CEw e K do tipo potêncial. Os resultados mostraram que é viável estimar a concentração de potássio na solução do solo, a partir de dados de umidade e CEa, com uso da equação (5) e com uso da equação potencial com o íon potássio em função da CEw. Os valores de K<sup>+</sup> estimados aproximaram-se dos medidos ao longo do ciclo da cultura da bananeira “Terra” nas condições de campo com desvio normalizado médio de 10,0%, desvio máximo e mínimo de 5,0% e 13,0% respectivamente.

**Palavras-Chave:** CEa, Potássio, Solução do solo.

**EVALUATION AND VALIDATION OF MATHEMATICAL MODELS FOR ESTIMATING POTASSIUM AS A FUNCTION OF SOIL WATER CONTENT, ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND SOIL SOLUTION.**

Author: Torquato Martins de Andrade Neto

Adviser: Eugênio Ferreira Coelho

**ABSTRACT:** The sustainable use of natural soil and water resources in areas that are fertirrigated requires knowledge of soil ion dynamics. This work had as objective to evaluate and to validate models for estimating potassium concentration in the soil solution as a function of bulk electrical conductivity (CEa), soil water content ( $\theta$ ) and a soil solution electrical conductivity (CEw) under field conditions. Treatments regarded about using three potassium chloride concentrations (1,0; 2,5 e 4,0 g.L<sup>-1</sup>) that were applied by two trickle irrigation systems (microsprinkler and drip) during the first cycle of the crop. Results showed that it is feasible to estimate the concentration of K in the soil solution from data of CEa and  $\theta$  by using equation (5) and by the potential equation that relates K as a function of CEw. The estimated values of K have gotten close to the ones measured along the crop cycle under field conditions, with a mean normalized deviation of 10,0%, maximum and minimum deviation of 5,0% and 13,0%, respectively.

**Key words:** ECa, Potassium, Soil solution.

## INTRODUÇÃO

Existe atualmente um substancial crescimento na utilização da fertirrigação nos pólos de agricultura irrigada do 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. Nessa tecnologia, pode-se evidenciar o fato da possibilidade de se parcelar as doses de fertilizantes aplicados que, em consequência promove uma melhor sintonia entre a aplicação de fertilizantes e a absorção dos nutrientes pelas culturas.

O uso incorreto da fertirrigação pode causar diversos danos ao meio ambiente tais como: degradação física e química dos solos devido às alterações no pH e no teor de sais ou sódio do solo; contaminação da fonte de água de irrigação ou do lençol freático ou subterrâneo sob a área irrigada (SANTOS et al., 2005a). Nesse sentido, faz-se necessário manejar de forma racional a fertirrigação e avaliar constantemente o estado químico do solo.

O uso sustentável dos recursos naturais solo e água em áreas submetidas à fertirrigação, em primeiro lugar, carecem do conhecimento da dinâmica dos íons no solo ao se fazer uma adubação via água de irrigação. Para tanto e visando obter melhor precisão da dinâmica e monitoramento de íons no solo, o emprego da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) apresenta-se como uma alternativa viável, pois tal técnica pode simultaneamente estimar num dado local do solo sua umidade e sua condutividade elétrica aparente (CEa).

É recomendado um manejo da fertirrigação, que promova a aplicação dos nutrientes na quantidade e no momento adequado. Para tanto, uma avaliação da situação da solução do solo, torna-se chave no que se refere ao melhor aproveitamento da técnica pelo produtor. Este estudo da situação de fertilidade em que se encontra o solo tem sido feito por meio de análises químicas do solo, o que leva um tempo relevante entre a amostragem em campo e a liberação dos resultados ao produtor. Uma alternativa consiste no uso de extratores de solução pelos quais se coleta a solução do solo para o monitoramento dos níveis de nutrientes aplicados via fertirrigação com o uso de kits de leitura rápida.

É de extrema importância que o manejo da fertirrigação embase-se no conhecimento da dinâmica de íons no solo. Pois eles influem nas condições do potencial osmótico do volume molhado (COELHO, et. al, 2005a). Percebe-se então que um conhecimento mais elaborado sobre a dinâmica de íons no solo pode auxiliar nas recomendações dos prováveis níveis de condutividade elétrica da solução do solo ou do extrato de saturação adequados a uma determinada cultura. Dessa forma, o conhecimento da dinâmica de íons no solo é necessário na sustentabilidade dos recursos do solo e da água (COELHO, et. al, 2005a).

Embasado na literatura, pode-se dizer que o uso da TDR permite, indiretamente, conhecer a condutividade elétrica da solução do solo ( $CE_w$ ) (NOBORIO, 2001; WRAITH & DAS, 1998; MUÑOZ-CARPENA et al. 2001; DALTON et al., 1984). A literatura tem apresentado diversos modelos que relacionam a umidade do solo ( $\theta$ ),  $CE_a$  e  $CE_w$  (RHOADES et al., 1976; VOGELER & CLOTHIER, 1996; HEIMOVAARA et al., 1995; NADLER et Al., 1984, modificado Por RHOADES et al., 1989). Os modelos de Rhoades et al.(1976) e o empírico de Vogeler & Clothier, (1996) são os que tem melhor se ajustado aos dados de  $CE_a$  como função de  $CE_w$  e  $\theta$  (SANTANA et al., 2004; COELHO et al., 2004).

Alguns autores (HEIMOVAARA et al., 1995; MUNOZ-CARPENA et al., 2001) têm estabelecido relações entre  $CE_w$  e um dado nutriente na solução o que tem sido feito também com o nitrato (MMOLAWA & OR, 2000; COELHO et al., 2005b) e com o potássio (COELHO et al., 2004). A literatura tem apresentado poucos trabalhos para determinação de níveis de nutrientes no solo com uso da solução coletada (SILVA et al., 2003). A complexidade do solo, quanto à dinâmica do estado iônico é o maior limitante no uso dessa metodologia. Relações positivas com elevados coeficientes de determinação entre  $CE_w$  e concentrações de alguns nutrientes foram observadas por Muñoz-Carpena et al., (2001), trabalhando com aplicação de KBr e Mmolawa et al., (2000) com o  $KNO_3$ .

Este trabalho teve como objetivo avaliar e validar modelos de estimativa da concentração de potássio na solução do solo como função da condutividade elétrica aparente ( $CE_a$ ) e da umidade do solo ( $\theta$ ) e em função da condutividade elétrica da solução do solo ( $CE_w$ ) em condições de campo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, em Cruz das Almas cidade, Estado da Bahia ("12° 48`S, 39°06` W, 225m), cujo clima é classificado como úmido a sub-úmido com 1.143 mm de chuva por ano (D`ANGIOLELLA et al., 1998).

A cultura utilizada foi a bananeira 'Terra', em uma área de 0,10 ha com 120 plantas em fileiras simples de 3,00m x 2,50m. Os tratamentos consistiram no uso de três concentrações de cloreto de potássio (1,0; 2,5 e 4,0 g.L<sup>-1</sup>) aplicadas através de dois sistemas de irrigação localizada (microaspersão e gotejamento), durante o primeiro ciclo da cultura. O sistema de microaspersão foi constituído de um microaspersor para quatro plantas com vazão de 43,0 L.h<sup>-1</sup>. O sistema de gotejamento envolveu uma linha lateral de irrigação por fileira de plantas, com três emissores de 4,0 L.h<sup>-1</sup> por touceira de plantas. A lâmina de irrigação de reposição de água entre duas irrigações foi calculada pela evapotranspiração da cultura estimada pela evaporação obtida pelo método do "tanque classe A". As fertirrigações seguiram uma frequência semanal de aplicação (sete dias). O cloreto de potássio foi à fonte de potássio utilizada, cuja quantidade e volume da solução injetora foi determinada seguindo-se recomendações de BORGES et al., (2007).

Amostras de solução do solo foram coletadas a cada 15 dias, durante um ciclo da cultura em cada parcela com três repetições, com uso de extratores de solução que foram instalados radialmente ao microaspersor a 0,30m da planta nas profundidades de 0,20 e 0,40m. No caso do gotejamento os extratores de solução foram instalados a 0,30 m da planta entre a planta e um gotejador a uma distancia fixa de 0,15m do mesmo, em duas profundidades (0,20 e 0,40m) com três repetições, ficando os extratores localizados no bulbo molhado entre dois emissores. Nessas mesmas posições foram instaladas sondas de TDR de comprimento de hastes de 0,10m construídas conforme Silva et al., (2005), em que a umidade do solo foi determinada por meio da equação (1) de Ledieu et al., (1986) e a CEa por meio da equação proposta por Giese & Tiemann, (1975), cujos valores foram corrigidos para a temperatura de 25°C, conforme a Equação 2 (Richards, 1954):

$$\theta = 0,1138\sqrt{\varepsilon - 0,1785} \quad (1)$$

em que,

$\theta$  – teor de água no solo,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , e

$\varepsilon_b$  - constante dielétrica do solo.

$$f_T = 1 + \frac{(25 - T)}{49,7} + \frac{(25 - T)^2}{3.728} \quad (2)$$

Os extratores foram lavados em laboratório com água deionizada entre uma coleta e outra. Em campo, os extratores foram devidamente instalados e em seguida foi realizada uma sucção de  $-70$  kPa com uma bomba de vácuo manual, com retirada da solução do solo duas horas depois. As amostras foram conduzidas ao laboratório de irrigação e Fertirrigação da Embrapa Mandioca e Fruticultura onde foram feitas as leituras de  $\text{K}^+$  em um equipamento de avaliação rápida (Card Horiba).

No 10º mês após o plantio da bananeira, sondas de TDR e extratores de solução foram instalados no solo às profundidades de 0,20 e 0,40m a 0,30m da planta, entre um emissor e outro no gotejamento e entre a planta e o emissor no caso da microaspersão. Foram feitas leituras de Condutividade elétrica aparente do solo (CEa) e umidade do solo ( $\theta$ ). Amostras de solução do solo simultaneamente às leituras de CEa e umidade foram coletadas ao longo do ciclo da cultura após as fertirrigações. As leituras de umidade e CEa foram feitas em intervalos de 15 minutos entre a aplicação da sucção e a retirada da solução. As alíquotas de solução do solo foram retiradas cerca de duas horas depois da sucção. Em seguida foram conduzidas ao laboratório de irrigação da Embrapa Mandioca e Fruticultura, onde foram processadas leituras de CEw e concentração de potássio com uso de um condutímetro de mesa e um kit de determinação rápida de potássio (Card Horiba).

Os dados de CEa e 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. Utilizou-se do modelo de Vogeler & Clothier (1996) para estimativa de CEw como função de CEa e umidade, conforme a equação (3):

$$CE_w = \frac{CE_a - (a\theta + b)}{c\theta - d} \quad (3)$$

onde:

CEw – Condutividade elétrica da solução do solo;

CEa – Condutividade elétrica aparente do solo;

a, b, c e d são os parâmetros da equação de Vogeler et al., (1996).

Os dados e  $K^+$  e CEw foram relacionados por uma função afim e por uma função potencial de forma a explicitar CEw como função de  $K^+$ . Os modelos foram comparados para escolha do de melhor desempenho, como exemplo segue-se o modelo potencial na forma:

$$CEw = \alpha K^\mu \quad (4)$$

A substituição da equação (4) em (3) resultou na equação (5):

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

Os dados e  $K^+$  e CEw também foram relacionados com  $K^+$  como função de CEw, como função inversa da equação (3). Os modelos matemáticos foram ajustados aos dados por meio da minimização da soma dos quadrados dos desvios entre os valores estimados e observados. Os indicadores estatísticos *ME* (média dos erros), *RMSE* (raiz quadrada da média dos quadrados dos erros), “d” (índice de concordância de Willmott) e o  $R^2$  (coeficiente de determinação) foram utilizados na avaliação dos modelos abordados (GOMES et al., 2002).

A raiz quadrada da média dos quadrados dos erros (RMSE) foi definida pela equação utilizada também por Gomes et al., (2002):

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

onde:

n= numero de dados

$O_i$  = valor medido.

$E_i$ = valor medido.

Utilizou-se a média absoluta dos erros, conforme a equação:

$$MEA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \quad (7)$$

Foi utilizada também a equação dos erros normalizados:

$$MEN = \sum_{i=1}^n \left( \frac{K_{medido} - K_{estimado}}{K_{medido}} \right) \times 100 \quad (8)$$

Os modelos também foram avaliados pela equação de regressão linear com o intercepto em zero, onde as análises foram feitas em função dos coeficientes angulares e do coeficiente de determinação da equação de regressão.

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. A eficiência dos modelos da estimativa da concentração de potássio em relação às concentrações medidas a partir da solução do solo, ao longo do ciclo da bananeira foi calculada com a fórmula de Nash & Sutcliffe (1970):

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - O_m)^2 - \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_m)^2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \quad (9)$$

Além da eficiência, ainda foram avaliados o RMSE e a MAE na comparação dos dados de  $K^+$  coletados em campo com os dados estimados.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de VOGELER et al., (1996) foi ajustado aos dados de CEw como função de CEa e  $\theta$  para os todas as concentrações estudadas, explicando 92,64%, 78,47% e 70,05% das variações em CEw devidas as variações de CEa e  $\theta$ , para as concentrações de cloreto de potássio na água de irrigação de 1,0; 2,5 e 4,0 g.L<sup>-1</sup>, respectivamente, aplicadas via gotejamento (Tabela 1). Os resultados obtidos, aproximaram-se dos encontrados por Silva et al., (2005), que estudando diferentes equações para estimativa de CEw, incluindo a equação de Vogeler et al., (1996), verificou que essa equação apresentou um coeficiente de determinação de 0,92. Santos et al., (2005a), observou que o modelo empírico de Vogeler et al., (1996) foi o que melhor estimou CEw a partir da CEa e  $\theta$  em comparação com outros modelos, com R<sup>2</sup> de 0,86.

Para o sistema de microaspersão, o modelo de Vogeler et al., (1996) ajustou bem os dados de CEw como função de CEa e  $\theta$  apenas para a concentração de 4,0 g.L<sup>-1</sup>, explicando 79,91% das variações de CEw resultantes das variações de CEa e  $\theta$ . Esse resultado concorda com Santana et al., (2007), que em pesquisa com diferentes modelos matemáticos, observou que o modelo de Vogeler et al., (1996) apresentou R<sup>2</sup> de 0,79 em um solo de textura Franca e Franco-arenosa, respectivamente. Nos demais tratamentos, o modelo explicou 27,47% e 19,32% das variações de CEw como função de CEa e de  $\theta$ , para as concentrações de cloreto de potássio na água de irrigação de 1,0 e 2,5 g.L<sup>-1</sup>, respectivamente.

Em termos gerais o tratamento com 1,0 g.L<sup>-1</sup>, no sistema de gotejamento, apresentou menor valor de (RMSE), e conseqüentemente menor valor de (MEA), resultando em melhor ajuste dos dados pela equação (3). Em contrapartida o tratamento com 2,5 g.L<sup>-1</sup> na microaspersão, obteve maior valor de RMSE e de MEA, resultando em um ajuste dos dados pela equação (3) de 19,0%.

Em média, os valores estimados de CEw subestimaram os valores medidos em 1,11% ( $\beta = 0,999$ ) para concentração de 1,0 g.L<sup>-1</sup> no gotejamento e 4,0 g.L<sup>-1</sup> na microaspersão com R<sup>2</sup> da regressão  $Y = \beta X$  (sendo Y, CEw estimado e X, CEw medido) de 0,78 e 0,77, respectivamente. Esses resultados diferem dos

Em termos gerais o tratamento com  $1,0 \text{ g.L}^{-1}$ , no sistema de gotejamento, apresentou menor valor de (RMSE), e conseqüentemente menor valor de (MEA), resultando em melhor ajuste dos dados pela equação (3). Em contrapartida o tratamento com  $2,5 \text{ g.L}^{-1}$  na microaspersão, obteve maior valor de RMSE e de MEA, resultando em um ajuste dos dados pela equação (3) de 19,0%.

Em média, os valores estimados de CEw subestimaram os valores medidos em 1,11% ( $\beta = 0,999$ ) para concentração de  $1,0 \text{ g.L}^{-1}$  no gotejamento e  $4,0 \text{ g.L}^{-1}$  na microaspersão com  $R^2$  da regressão  $Y = \beta X$  (sendo Y, CEw estimado e X, CEw medido) de 0,78 e 0,77, respectivamente. Esses resultados diferem dos encontrados por Santana et al.(2004), que observaram um  $R^2$  de 0,74 para dois tipos de solos, com uma subestimativa dos valores estimados em cerca de 5% e foram mais próximos dos encontrados por Santos et al., (2005b), que estudando duas fontes nitrogenadas, encontraram um  $R^2$  de 0,87 com uma subestimação dos dados em 2,13%. Houve uma superestimativa dos valores estimados em cerca de 0,9% com  $R^2$  de 0,79, no tratamento com  $2,5 \text{ g.L}^{-1}$  aplicado via gotejamento, e de 0,5 e 8,0% para as concentrações de  $1,0$  e  $2,5 \text{ g.L}^{-1}$  na microaspersão.

Observa-se que na microaspersão para o tratamento com  $2,5 \text{ g.L}^{-1}$  e no gotejamento com  $4,0 \text{ g.L}^{-1}$ , ajustes entre CEw medida e estimada ( $Y = \beta X$ ) com baixos coeficientes de determinação, de 34,0%, e de 12,0%, respectivamente.

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 cloreto de potássio para a gotejamento e microaspersão.

| Sistema de irrigação | Trat. (g.L <sup>-1</sup> ) | Parâmetros do modelo |          |          |          |                | Coeficientes |       |         |                 |
|----------------------|----------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------------|--------------|-------|---------|-----------------|
|                      |                            | a                    | b        | c        | d        | R <sup>2</sup> | RMSE         | MEA   | $\beta$ | R <sup>2'</sup> |
| Gotejamento          | 1,0                        | 7,3696               | -3,2E+00 | 25,60    | 10,09    | 0,93           | 1,198        | 0,927 | 0,999   | 0,78            |
|                      | 2,5                        | 3,8739               | -2,5E+00 | 18,69    | 8,08     | 0,78           | 2,459        | 2,085 | 1,009   | 0,79            |
|                      | 4,0                        | 1,0E+06              | 5,2E+06  | 2,2E+06  | 6,3E+06  | 0,70           | 1,432        | 1,516 | 1,013   | 0,12            |
| Microaspersão        | 1,0                        | -3,1E+08             | 1,7E+07  | -9,9E+08 | -2,2E+08 | 0,27           | 1,733        | 1,306 | 1,005   | 0,72            |
|                      | 2,5                        | 9,8E+09              | -3,9E+09 | 3,0E+09  | 1,0E+10  | 0,19           | 4,780        | 4,293 | 1,080   | 0,34            |
|                      | 4,0                        | 3,9244               | -2,9E+00 | 18,80    | 8,13     | 0,79           | 2,638        | 2,186 | 0,999   | 0,77            |

\* $\beta$ = Valor do parâmetro da equação ( $Y=\beta X$ ), R<sup>2'</sup>= Refere-se ao coeficiente de determinação encontrado da relação CEw medido x CEw estimado pelo modelo Vogeler et al., (1996).

Observa-se, na Tabela 2, os parâmetros do modelo ajustado aos dados de  $K^+$  em função de CEa e  $\theta$ , com base na equação (5) bem como as medidas de correlação e de diferença, para o sistema de gotejamento e de microaspersão.

A equação (5) explicou as variações de  $K^+$  em função de CEa e  $\theta$ , com uso do gotejamento, em 92,42; 81,52 e 84,29% dos dados, respectivamente para as concentrações de 1,0; 2,5 e 4,0 g.L<sup>-1</sup>. Esses coeficientes ficaram próximos dos obtidos por Santana et al. (2007), com R<sup>2</sup> de 0,81 para um solo de textura franco-arenosa. Os tratamentos que apresentaram menores valores de RMSE foram os que apresentaram maiores coeficientes de determinação, exceto para a concentração de 2,5 g.L<sup>-1</sup> na microaspersão.

A equação (5) superestimou os valores medidos de  $K^+$  em 2,5% no sistema de gotejamento para a concentração de 4,0 g.L<sup>-1</sup> e, 1,4 % para a concentração de 2,5 g.L<sup>-1</sup> na microaspersão. Entretanto o modelo subestimou os valores observados de  $K^+$  numa faixa de 1,16% a 1,45% nos demais tratamentos nos dois sistemas. O mesmo ocorreu na microaspersão, onde a equação explicou 87,0%, 84,1% e 80,1% da variação de  $K^+$  como função de CEa e  $\theta$  para as concentrações de cloreto de potássio na água de irrigação de 1,0 2,5 e 4,0 g.L<sup>-1</sup>. Os resultados concordam com Santana et al., (2007), que relatou 81,78% dos dados foram explicados pelo equação (5) ajustadas para um solo de textura franco-arenosa.

Em termos gerais os coeficientes de determinação referentes às relações  $K_{es} = \beta K_{med}$  encontrados nos diferentes tratamentos foram superiores ao obtido por Santana et al., (2007), que em trabalho realizado com diferentes modelos matemáticos para estimativa de potássio, obteve um R<sup>2</sup> de 0,74, correlacionando os valores de  $K^+$  oriundos da equação (5) com os medidos.

Houve diferença estatística entre as médias dos módulos dos desvios entre o potássio medido e o estimado pelo modelo para as três concentrações da água de irrigação. No sistema de microaspersão apenas a média dos desvios relativa à concentração de 1,0 g.L<sup>-1</sup> (5,68%) diferiu das demais médias dos desvios ( $P < 0,05$ ) que foram próximas de 12,0%. No caso do sistema de gotejamento, a média dos desvios entre  $K^+$  estimado e observado referente à concentração de 4,0 g.L<sup>-1</sup> (5,42%) foi estatisticamente diferente das demais, sendo menor que ambas, cujos desvios médios variaram de 10,70% a 13,83%.

Tabela 2: Parâmetros resultantes dos ajustes da equação (5) para  $K^+$  como função de CEw e  $\theta$ , coeficientes estatísticos, para as diferentes concentrações de cloreto de potássio no sistema de gotejamento e microaspersão.

| Sistema de irrigação | Trat.<br>(g.L <sup>-1</sup> ) | Parâmetros do modelo |          |          |          | Coeficientes |       |                |       |        |         |                 |                |
|----------------------|-------------------------------|----------------------|----------|----------|----------|--------------|-------|----------------|-------|--------|---------|-----------------|----------------|
|                      |                               | a                    | b        | c        | d        | $\alpha$     | $\mu$ | R <sup>2</sup> | RMSE  | MEA    | $\beta$ | R <sup>2'</sup> | t<br>(desvios) |
| Gotejamento          | 1,0                           | 50,96                | -1,9E+01 | 62,96    | 23,97    | 0,70         | 0,06  | 0,92           | 1,198 | 0,93 a | 0,99    | 0,91            | 13,83 a        |
|                      | 2,5                           | -15,80               | -7,575   | 27,15    | 11,01    | 0,12         | 0,75  | 0,81           | 2,459 | 2,08 b | 0,99    | 0,80            | 10,704a        |
|                      | 4,0                           | 22,93                | 5,561    | -1,42    | -0,35    | 1,89         | 0,63  | 0,84           | 1,432 | 1,52 b | 1,02    | 0,72            | 5,427 b        |
| Microaspersão        | 1,0                           | -3,1E+08             | -1,7E+07 | -9,9E+06 | -2,1E+08 | 0,16         | 0,43  | 0,87           | 1,733 | 1,31 a | 1,00    | 0,86            | 5,689 a        |
|                      | 2,5                           | 0,9583               | 0,038    | -9,78    | -2,78    | 3,7E-06      | 3,08  | 0,84           | 4,780 | 4,29 b | 1,01    | 0,82            | 12,23 b        |
|                      | 4,0                           | -13,69               | -8,658   | 27,48    | 11,96    | 0,20         | 0,66  | 0,80           | 2,638 | 2,18 a | 0,96    | 0,78            | 13,78 b        |

\* $\beta$ = Valor do parâmetro da equação ( $Y=\beta X$ ), R<sup>2'</sup>= Refere-se ao coeficiente de correlação encontrado da relação  $K^+$  medido x  $K^+$  estimado pela equação (5).

O maior valor de RMSE para o tratamento com  $2,5 \text{ g.L}^{-1}$ , tanto no gotejamento quanto na microaspersão., pode ter sido causado por alguns erros de grande proporção na soma dos dados, causando acréscimos significativos nos valores de RMSE conforme Gomes et al., (2002). Em geral, quanto menores os valores obtidos para RMSE, melhor a desempenho dos modelos. Esse tratamento também apresentou maiores valores de MEA em ambos os sistemas. Segundo Stone, (1993) quanto menor o valor absoluto de MEA, melhor é a desempenho do modelo testado. A desvantagem deste método é que uma superestimativa cancela uma subestimativa.

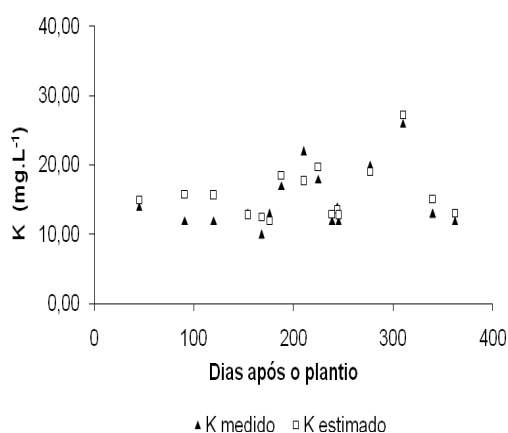
Na tabela 3 são mostrados os parâmetros de avaliação do modelo potencial que relaciona  $K^+$  e CEw. Nesse caso, o modelo ajustou-se melhor aos dados para o gotejamento, explicando 81,4%, 79,7% e 76,5% das variações de  $K^+$  com as de CEw para os tratamentos com 1,0; 2,5 e  $4,0 \text{ g.L}^{-1}$ , respectivamente. Na microaspersão o modelo explicou 86,30% e 72,40% das variações de  $K^+$  como função de CEw, respectivamente para as concentrações de 1,0 e  $4,0 \text{ g.L}^{-1}$ . Os resultados obtido pelo modelo potencial, em termos gerais, aproximou-se dos conseguidos por Silva et al., (2005), que relatam que 83,76% de correlação entre os valores de  $K^+$  medidos e estimados pelo modelo potencial. No sistema de microaspersão apenas a média dos desvios relativa à concentração de  $1,0 \text{ g.L}^{-1}$  (5,76%) diferiu das demais médias dos desvios ( $P < 0,05$ ) que foram próximas de 12,0%. No caso do sistema de gotejamento, as médias não diferiram entre si ( $P < 0,05$ ).

Tabela 3. Parâmetros resultantes do ajuste do modelo potencial para  $K^+$  como função de CEw e coeficientes estatísticos, para as diferentes concentrações de cloreto de potássio no sistema de gotejamento e microaspersão.

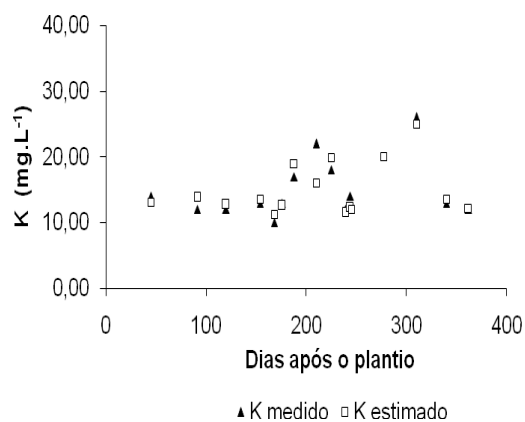
| Sistema | Trat. ( $g.L^{-1}$ ) | Coeficientes   |       |         | Parâmetros |       |
|---------|----------------------|----------------|-------|---------|------------|-------|
|         |                      | t<br>(desvios) | RMSE  | MEA     | $\beta$    | $R^2$ |
| Micro   | 1,0                  | 5,76 a         | 1,018 | 1,234 a | 1,003      | 0,893 |
|         | 2,5                  | 12,23 b        | 1,635 | 8,716 b | 0,905      | 0,234 |
|         | 4,0                  | 12,26 b        | 1,201 | 2,224 a | 0,987      | 0,803 |
| Gotejo  | 1,0                  | 10,25 a        | 1,006 | 1,294 a | 1,017      | 0,930 |
|         | 2,5                  | 11,91 a        | 1,196 | 2,240 b | 0,987      | 0,803 |
|         | 4,0                  | 7,81 a         | 1,128 | 2,050 b | 0,992      | 0,894 |

\* $\beta$ = Valor do parâmetro da equação ( $Y=AX$ ),  $R^2$ = Refere-se ao coeficiente de correlação encontrado da relação  $K^+$  medido x  $K^+$  estimado pela modelo.

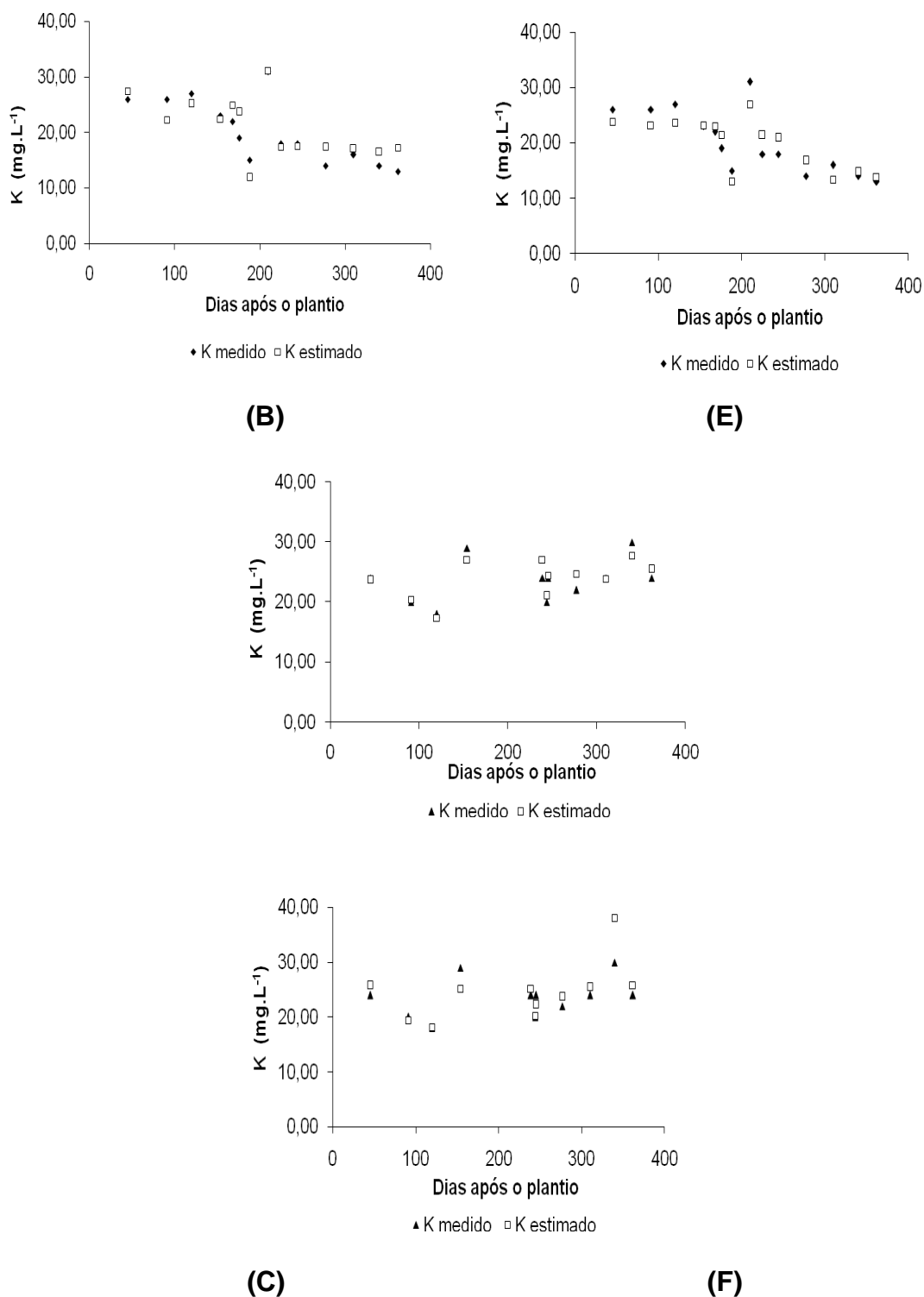
A Figura 1 ilustra os teores de  $K^+$  medidos na solução do solo e os estimados pela equação (5), no sistema de gotejamento (Figuras 1A, 1B e 1C), e na microaspersão (Figuras 1D, 1E e 1F). As figuras 1A e 1D, 1B e 1E e 1C e 1F representam, respectivamente, os tratamentos com as concentrações de 1,0; 2,5 e 4,0  $g.L^{-1}$ . O modelo demonstrou uma proximidade dos dados de potássio medidos com os estimados ao longo do ciclo da cultura tanto no gotejamento (Figuras 1A, 1B e 1C), quanto na microaspersão (Figuras 1D, 1E e 1F).



(A)



(D)



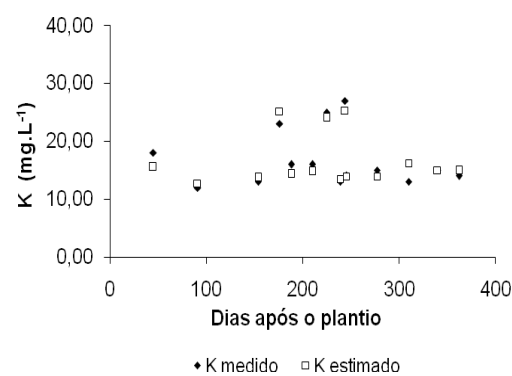
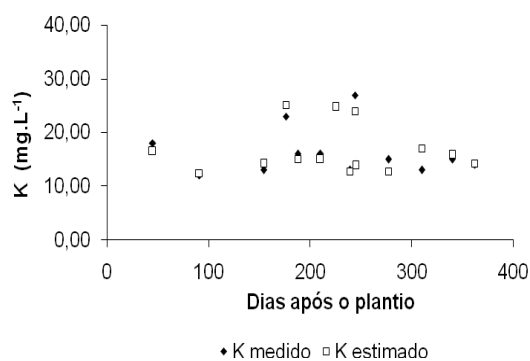
**Figura 1.** Correlação entre os valores de  $K^+$  medidos na solução do solo e estimados pela equação (5) nos tratamentos com 1,0; 2,5 e 4,0 g.L<sup>-1</sup>, respectivamente (A, B e C) no gotejamento e, microaspersão (D, E e F).

As médias dos erros normalizados (MEN) variaram de 5,4 a 13,8% nos dois sistemas de irrigação, com erro normalizado máximo e mínimo de 31,8% e



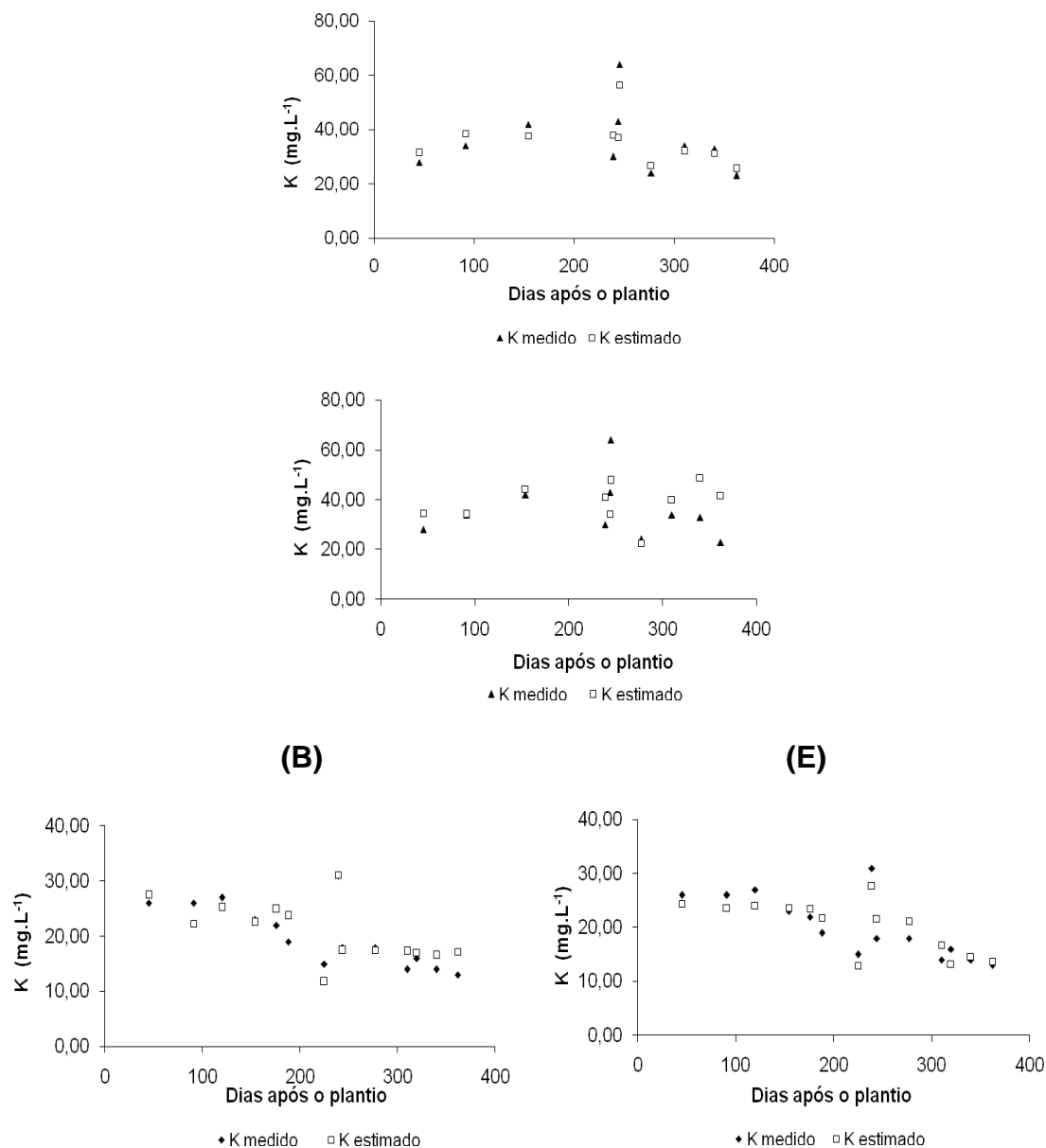
0,60% no caso do gotejamento e 32,54% e 1,07% na microaspersão. No sistema de microaspersão, a MEN referente à concentração de 1,0 g.L<sup>-1</sup> diferiu estatisticamente das demais, apresentando o menor valor de 5,6% (Tabela 3). O modelo referente à equação (5) apresentou maiores eficiências, isto é, 0,94, 0,97 e 0,94 para as concentrações de 1,0; 2,5 e 4,0 g.L<sup>-1</sup>, respectivamente para esse sistema em relação ao modelo potencial (Tabela 4).

A Figura 2 ilustra os teores de K<sup>+</sup> medidos na solução do solo e estimados pelo modelo potencial, no sistema de gotejamento (Figuras 2A, 2B e 2C), e na microaspersão (Figuras 2D, 2E e 2F). As figuras (2A e 2D), (2B e 2E) e (2C e 2F), representam respectivamente os tratamentos com uso de soluções injetoras de concentrações 1,0; 2,5 e 4,0 g.L<sup>-1</sup>. As médias dos erros normalizados (MEN) variaram de 5,4 a 13,8% nos os dois sistemas de irrigação, com erro normalizado máximo e mínimo de 27,13% e 0,74% no caso do gotejamento e 26,48% e 0,60% na microaspersão.



(A)

(D)



**Figura 2.** Correlação entre os valores de  $K^+$  medidos na solução do solo e estimados pelo modelo potencial nos tratamentos com 1,0; 2,5 e 4,0 g.L<sup>-1</sup>, respectivamente (A, B e C) no gotejamento e, microaspersão (D, E e F).

A variação média dos erros normalizados (MEN) na microaspersão foram maiores para a equação (5). Os valores de MEN não diferiram entre si para o modelo potencial (tabela 4). As eficiências relativas ao modelo potencial variaram de 0,83 a 0,89 para as concentrações de 1,0; 2,5 e 4,0 g.L<sup>-1</sup>. Enquanto que a equação (5) apresentou valores de eficiência que variaram de 0,94 a 0,97 (Tabela 4).

Tabela 4. Comparação entre a equação (5) e o modelo potencial envolvendo alguns coeficientes estatísticos, para as diferentes concentrações de cloreto de potássio no sistema de gotejamento e microaspersão.

| Sistema | Equação (5)                   |                    |                               |      | Modelo Potencial   |                               |      |
|---------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|------|--------------------|-------------------------------|------|
|         | Trat.<br>(g.L <sup>-1</sup> ) | t (desvios)<br>MEN | RMSE<br>(mg.L <sup>-1</sup> ) | EF   | t (desvios)<br>MEN | RMSE<br>(mg.L <sup>-1</sup> ) | EF   |
| Micro   | 1,0                           | 5,68 a             | 1,198                         | 0,94 | 10,25 a            | 1,008                         | 0,87 |
|         | 2,5                           | 12,23 b            | 2,459                         | 0,97 | 11,91 a            | 1,635                         | 0,89 |
|         | 4,0                           | 13,78 b            | 1,432                         | 0,94 | 7,811 a            | 1,201                         | 0,83 |
| Gotejo  | 1,0                           | 13,83 a            | 1,733                         | 0,93 | 5,7636a            | 1,005                         | 0,95 |
|         | 2,5                           | 10,704a            | 4,780                         | 0,94 | 12,23 b            | 1,196                         | 0,97 |
|         | 4,0                           | 5,42 b             | 2,638                         | 0,89 | 12,26 b            | 1,128                         | 0,89 |

No sistema de gotejamento, a MEN referente ao tratamento de aplicação 4 g.L<sup>-1</sup> diferiu estatisticamente das demais, com um valor de 5,4%, enquanto que para os outros tratamentos esses desvios ficaram em termos gerais em 11,0% para os dados ajustados pela equação (5). No caso do modelo potencial, a MEN referente concentração de 1,0 g.L<sup>-1</sup> diferiu das demais, com um valor de 5,7% (P<0,05). No que se referem à eficiência dos modelos, essas ficaram bem próximas no gotejamento, sendo que para a equação (5) a eficiência ficou na faixa entre 0,89 a 0,94 e no modelo potencial de 0,89 a 0,97. Em termos gerais os valores ajustados pela equação 5 apresentaram maiores dispersões (RMSE), variando de 1,432 a 4,780 mg.L<sup>-1</sup>. Enquanto que para o modelo potencial essa variação ficou entre 1,008 a 1,635 mg.L<sup>-1</sup>. A equação (5) apresentou maiores desvios (MEN) que o modelo potencial, no entanto, mostrou maior eficiência do modelo (EF) na microaspersão.

## CONCLUSÃO

É viável estimar a concentração de potássio na solução do solo, a partir de dados de umidade e CEa, com uso da equação (5) resultante da combinação do modelo de Vogeler et al., (1996) com a equação potencial, com o íon potássio em função da CEw.

Os valores de  $K^+$  estimados aproximaram-se dos medidos ao longo do ciclo da cultura nas condições de campo com desvio normalizado médio de 10,0%, desvio máximo e mínimo de 5,0% e 13,0% para ambos os modelos.

A equação (5) e o modelo potencial apresentaram dados estimados de  $K^+$  bem próximo dos medidos ao longo do ciclo da cultura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES, A. L.; SOUZA, L. S.; CORDEIRO, MACIEL, Z. J. Atributos químicos dos solos em áreas de produtores vinculados à produção integrada de banana no projeto Formoso, Bahia. In: Seminário Brasileiro sobre Produção Integrada de Frutas, 2007, Bento Gonçalves, RS. **Anais...** do IX SBPIF e I SSAPI. Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, 2007. v. 1. p. 122-126.

COELHO, E. F.; SANTOS, M. R.; SILVA, A. J. P. Estimativa da concentração de NO<sub>3</sub> no solo sob aplicação de nitrato de cálcio no solo usando reflectometria no domínio do tempo. In: XV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2005, Teresina. **Anais...** XV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem - Simpósio Internacional de águas Subterrâneas, 2005 (a).

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; SILVA, T. S. M. Uso da TDR na avaliação de íons nitrato no volume molhado de solo fertirrigado com sulfato de amônio. In: XV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2005, Teresina. **Anais...** XV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem - Simpósio Internacional de Uso de Águas Subterrâneas, 2005 (b).

COELHO, E. F.; SANTANA, G. Da S.; SILVA, T. S. M.; RAMOS, M. M. Estimativa da concentração de potássio na solução do solo com base em leituras de condutividade elétrica e umidade por reflectometria no domínio do tempo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33, 2004, São Pedro. **Anais...** Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, CD-ROM.

DALTON, F. N.; HERKELRATH, W. N.; RAWLINS, D. S.; RHOADES, J. D. Time-domain reflectometry: Simultaneous measurement of soil water content and electrical conductivity with a single probe. *Science*, 224: 989-990, 1984.

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. **Anais...** Lavras: UFLA, 1998. v. 1, p. 43-45.

GIESE, K.; TIEMANN, R. Determination of the complex permittivity from the sample time domain reflectometry. *Advanced Molex Relaxes Processes*, New York, v.7, n.1, p.45-49, 1975.

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..

HEIMOVAARA, T. J.; FOCKE, A. G.; BOUTEN, W.; VERSTRANTEN, J. M. Assessing temporal variations in soil water composition with time domain reflectometry. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, p. 689-698, 1995.

LEDIEU, J.; De RIDDER, P.; De CLECK, P.; DAUTREBANDE, S. A method measuring soil water moisture by time-domain reflectometry. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.88, n.1, p.319- 328, 1986.

MUÑOZ-CARPENA, R.; REGALADO, C. M.; ALVAREZ-BENEDÍ, J.; SOCORRO, A. R.; PÉREZ, N. **Determinación simultánea mediante TDR del transporte de agua y un soluto salino em el suelo**. In: LÓPEZ, J. J. e QUEMADA, M. ed. V, *Temas de Investigación en Zona no Saturada*. p. 1-7. Pamplona: Universidade Pública de Navarra, 2001.

MMOLAWA, K. OR, D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. *Plant and Soil*, v. 222, p.163-190. 2000.

NADLER, A.; FRENKEL, H.; MANTELL, A. Applicability of the four-probe technique under extremely variable water contents and salinity distribution. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.48, n. 6, p.1258–1261, 1984.

NASH, J. E. and J. V. SUTCLIFFE (1970), [River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles](#), **Journal of Hydrology**, 10 (3), 282–290.

NOBORIO, K. **Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review**. *Computers and Electronics in Agriculture*, 31:213-237, 2001.

RICHARDS, L.A. (ed.). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. USDA Agriculture Handbook 60.

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**, 53: 433-439, 1989.

RHOADES, J. D.; RAATS, P. A.; PRATHER, R. J. Effects of liquid phase electrical conductivity, water content and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, 40: 651-655, 1976.

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. DA S.; COELHO, E. F.; SILVA, T. S. M.; RAMOS, M. M.; COELHO FILHO, M. A. Estimativa da condutividade elétrica da solução do solo em função da umidade e da condutividade elétrica aparente. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33, 2004, São Pedro. **Anais...** Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, CD-ROM.

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 2005a - Canoas – RS.

SANTOS, M. R.; COELHO, E. F.; SILVA, A. J. P. Modelos para estimativa da distribuição de íons no solo sob aplicação de nitrato de cálcio usando reflectometria no domínio do tempo. In: **Anais...** XV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2005, Teresina. XV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem - Simposio Internacional de águas Subterraneas, 2005b.

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.

SILVA, T. S. M., et al. Parâmetros para monitoramento da distribuição de íons no solo com uso de reflectometria no domínio do tempo. In: **Anais... I CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTIRRIGAÇÃO - COMBRAFERI**, 1., 2003, João Pessoa.

STONE, R. J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. **Solar Energy**, v.51, n.4, p.289-91, 1993.

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.

WRAITH, J. M; DAS, B. S. Monitoring soil water and ionic solute distributions using time domain reflectometry. *Soil and Tillage Research*, 47:145-150, 1998.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**. v.2, p.184-94, 1981.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho de pesquisa, todos os dados coletados possibilitaram um estudo mais significativo dos impactos da fertirrigação nitrogenada e potássica na cultura da bananeira Terra e permitiu ganhos de conhecimento que elucidam os efeitos de diferentes concentrações de fertilizantes, aplicados via gotejamento e microaspersão, sobre o solo no que se refere à salinidade e a concentração de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{K}^+$  na solução do solo.

O trabalho disponibilizou para o agricultor faixas de concentração de uréia e nitrato de cálcio na água de irrigação que promovem um bom desenvolvimento da cultura sem efeitos adversos ao solo e ao meio ambiente nas condições em estudo.

É necessário a continuação de estudos que possam, cada vez mais, manter o produtor mais informado sobre o monitoramento de sua fertirrigação, com vistas ao manejo sustentável dos recursos naturais.

Com base nos resultados obtidos, não é recomendado a aplicação de concentrações de  $4,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  de uréia e  $13,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  de nitrato de cálcio via água de irrigação, pois podem provocar salinização do solo e afetar o desenvolvimento da bananeira.

A equação resultante da combinação do modelo de Vogeler et al., (1996) com o modelo potencial, apresentou boa eficiência em estimar potássio na solução do solo, através da CEw e umidade.

Sugere-se que trabalhos sobre dinâmica de íons no solo sejam realizados a fim de se disponibilizar ao produtor condições mais sólidas de monitoramento do K com base na CEa ou CEw.