

DISTRIBUIÇÃO DA SOLUÇÃO NO SOLO APLICADO POR GOTEJAMENTO ENTERRADO E SUPERFICIAL

Allan Cunha Barros¹, Marcos Vinícius Folegatti², Claudinei Fonseca Souza³, Bruno L. Santoro⁴

¹Prof. Assistente, Curso de Agronomia, UFAL, Campus Arapiraca, Caixa Postal 61, Arapiraca – AL, allan-cunha@hotmail.com

²Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba – SP, mvfolega@esalq.usp.br

³Professor Adjunto, Depto. de Recursos Naturais e Proteção Ambiental – CCA/UFSCar – cfsouza@cca.ufscar.br

⁴Engenheiro Ambiental e Sanitarista, Bolsista de Capacitação Técnica Fapesp – CCA/UFSCar – blsantoro@hotmail.com

1 RESUMO

O objetivo do trabalho foi estudar distribuição da solução no solo fertirrigado por gotejamento enterrado e superficial. O ensaio foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP - Piracicaba, SP. Para o estudo foram abertas 6 trincheiras e instaladas sondas de TDR, dispostas a 0,05; 0,15; 0,25; 0,35 e 0,45 m – profundidade, e a 0,05; 0,15; 0,25; 0,35 m – comprimento, totalizando 17 sondas por trincheira. Os tratamentos foram baseados na profundidade de aplicação (0,00 e 0,10 m) e vazão aplicada (2 e 4 L h⁻¹): ENT2; ENT4; SUP2 e SUP4. A cada hora era aplicado 1 L de solução de KNO₃, seguida de monitoramento do movimento dos íons com o TDR. Assim, foi possível verificar que: em relação aos sistemas superficiais, os íons aplicados pelos sistemas enterrados atingiram maior largura e profundidade e as maiores concentrações foram obtidas próximas aos pontos de emissão.

UNITERMOS: Fertirrigação, Nitrato de potássio, Nitossolo, TDR.

BARROS, A. C.; FOLEGATTI, M. V.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. L. SOIL SOLUTION DISTRIBUTION APPLIED BY SUB-SURFACE AND SURFACE DRIP IRRIGATION

2 ABSTRACT

The aim of this work was to assess the soil solution distribution applied by sub-surface and surface drip irrigation. The trial was conducted in an experimental area at the Engineering Rural Department of ESALQ/USP - Piracicaba, SP. Six trenches were opened, and TDR probes were installed on them arranged as follow: 0.05; 0.15; 0.25; 0.35 and 0.45 m - depth, and 0.05; 0.15; 0.25; 0.35 m - length, totaling 17 probes per trench. The treatments were based on the application depth (0.00 and 0.10m) and flow rate applied (2 and 4 Lh⁻¹): ENT2; ENT4; SUP2 and SUP4. Every hour 1 L of KNO₃ solution was applied (10 L total), followed by monitoring ions movement with TDR. Thus, it was possible to verify that, in terms of surface systems, the ions applied by sub-surface drip irrigation achieved larger depth and width, and the largest concentrations were found near the emissions points.

KEY WORDS: irrigation, potassium nitrate, NITOSOL, TDR

3 INTRODUÇÃO

A irrigação por gotejamento, quando bem manejada, permite uma maior eficiência de aplicação de água e nutrientes (fertirrigação). Este sistema pode ser utilizado de duas formas: na superfície ou enterrado, também chamado de sistema de irrigação subsuperficial.

Devido ao elevado custo das áreas produtivas de cana em São Paulo, a adoção de técnicas como o gotejamento enterrado é alternativa técnica para aumentar os índices de produtividade. Este sistema também é utilizado em outras culturas como tomate (Marouelli & Silva, 2002), melão (Coelho et al., 1999), mamão (Souza et al. 2007), alface (Gomes & Sousa, 2002) e café (Faria et al., 2004).

O sistema de gotejamento enterrado apresenta como vantagens em relação ao superficial a flexibilidade do uso de maquinário agrícola; maior dificuldade na germinação de sementes de ervas daninhas, uma vez que o solo se mantém seco na superfície e menor redução da produção quando do uso de água salina. (Oron et al., 1991).

Além disso, o sistema enterrado apresenta uma maior disponibilidade de nutrientes, uma vez que o ponto de emissão se encontra mais próximo da raiz, fato importante no manejo da fertirrigação. Apesar disso, informações sobre o movimento simultâneo da água e dos sólidos dissolvidos são escassos (Clothier & Sauer, 1988).

Além de determinar a forma do bulbo molhado, em cultivos com fertirrigação, é importante realizar o acompanhamento da dinâmica e distribuição dos nutrientes no perfil do solo. Esta prática permite estabelecer ou ajustar a aplicação adequada dos fertilizantes e o manejo da água de irrigação, além de poder prevenir danos ambientais, como a salinização dos solos e a contaminação do lençol subterrâneo e fontes de água superficiais

No monitoramento da fertirrigação deve-se avaliar o manejo em si, com base nos impactos causados no solo que possam influenciar o desenvolvimento das plantas, que deve envolver o acompanhamento da aplicação dos fertilizantes observando a concentração da solução injetada, 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).

Tecnologias, como os sistemas por gotejamento enterrado e a fertirrigação, só se tornam viáveis se forem manejadas visando à racionalização do uso dos recursos naturais e o aumento da produtividade (Coelho et al., 1999). Informações sobre o movimento simultâneo da água e dos sólidos dissolvidos são escassos; isso se deve aos problemas envolvidos nas metodologias tradicionalmente aplicadas ao monitoramento da solução iônica.

O monitoramento dos íons a partir de análise do solo tem o inconveniente da necessidade de amostras deformadas e demora dos resultados. A metodologia de obtenção do extrato de saturação a partir de amostras não representa o estado iônico do solo em tempo real. O monitoramento de íons com o extrator de solução permite a repetição de leituras no mesmo local de amostragem, mas contempla apenas as regiões com a água retida a potenciais mais altos. (Silva et al., 2005).

A TDR tem sido usada para avaliação do movimento de solutos no solo em tempo real (Ward et al., 1995; Nadler et al., 1999, Bejat et al., 2000, Mmolawa & Or, 2000 e Souza et al. 2009). Souza et al. (2007) e Silva et al. (2005) já utilizaram a TDR para fazer leitura de CE no solo, aplicando os íons nitrato e potássio, respectivamente. Esses autores destacam os

benefícios para a pesquisa em fertirrigação, de forma dar subsídios ao entendimento da dinâmica de solutos sob diferentes manejos de fertirrigação.

Este trabalho teve como objetivo estudar a distribuição da solução no solo fertirrigado por gotejamento enterrado e superficial utilizando a técnica da TDR.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campus experimental Fazenda Areão, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- ESALQ/USP, no município de Piracicaba – SP (latitude 22°42’ S; longitude 47°38’ O, altitude de 435m) em condições de campo. O solo utilizado é classificado como Nitossolo vermelho segundo a classificação brasileira de solos (EMBRAPA, 1999). A densidade média do solo é de 1210 kg m⁻³, a capacidade de campo e ponto de murcha permanente são: 0,45 m³ m⁻³ e 0,25 m³ m⁻³ e a análise granulométrica revelaram para areia e argila: 29 e 45 %, respectivamente.

O monitoramento da solução no solo foi realizado por 17 sondas de TDR nos intervalos de tempo: antes da aplicação e após a infiltração. A disposição das sondas no solo seguiu a metodologia proposta por Coelho & Arruda (2001) como pode ser observado no esquema da Figura 1.

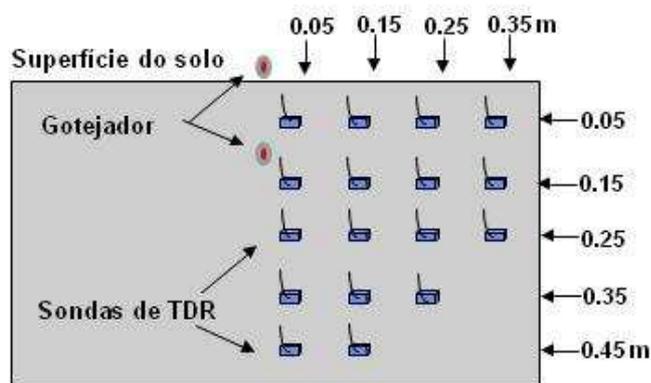


Figura 1. Corte transversal da disposição das sondas de TDR no volume de solo molhado.

Um equipamento de TDR 100 (Time Domain Reflectometry, da Campbell Scientific, Logan-Utah) foi utilizado para o monitoramento do conteúdo de água e da condutividade elétrica em diferentes profundidades no solo, equipado com uma interface RS 232, analisando o sinal eletromagnético automaticamente por um coletor de dados (CR1000 – Datalogger – Campbell Scientific). As sondas utilizadas no experimento foram construídas e calibradas seguindo as metodologias propostas por Souza et al. (2006a, 2006b) e Tommaselli & Bacchi. (2001). O monitoramento do ensaio foi facilitado devido à automação das sondas de TDR por um multiplexador.

Para instalação das sondas de monitoramento abriu-se uma trincheira com dimensões de 0,40 m x 0,50 m (largura e profundidade). As sondas foram distribuídas com espaçamento de 0,10 m formando uma malha vertical e horizontal (Figura 2), promovendo “medidas pontuais” em uma direção a partir do gotejador. A trincheira foi fechada com o mesmo solo retirado durante a sua abertura, porém, devido à diferença nas propriedades físicas do solo, e conseqüentemente, na distribuição de água, ocasionadas durante a movimentação do solo, as fertirrigações só foram realizadas após período de reestruturação da densidade do solo. Foram abertas três trincheiras, totalizando três repetições para cada ensaio em posições diferentes.



Figura 2. Disposição das sondas no perfil do solo para monitoramento da distribuição do potássio.

Os tratamentos se constituíram de duas profundidades de aplicação (0,0 e 0,10m) e duas vazões aplicadas (2 e 4 L h⁻¹): ENT2; ENT4; SUP2 e SUP4, com três repetições. A cada hora era aplicado 1 L de solução por repetição, totalizando 10 L, seguida do monitoramento da distribuição da solução no solo.

O fertilizante utilizado no ensaio foi o nitrato de potássio (KNO₃), pois tanto o nitrogênio como o potássio apresentam grande mobilidade no solo, comportamento desejável em estudos de dinâmica de íons na solução do solo. A concentração do nutriente foi estimada pela condutividade elétrica igual a 2 dS m⁻¹ (14,5 mmol L⁻¹ KNO₃). Este valor de condutividade elétrica foi escolhido por apresentar riscos moderados de salinidade na água de irrigação.

A aplicação da solução foi feita por sistema de irrigação por gotejamento com emissores autocompensantes. Para evitar a movimentação do solo no ato da instalação das linhas no solo foram utilizados distribuidores de descarga, de duas saídas, nos emissores, dispostos na superfície, uma saída foi bloqueada e na outra foi instalado um microtubo (diâmetro interno = 3,0 mm), com auxílio de trado foi feita a instalação na profundidade desejada. Devido à alta pressão e ser utilizado um emissor por vez, um retorno para o tanque de alimentação foi instalado, que, além disso, fazia com que a solução ficasse sempre em agitação.

A partir dos resultados do conteúdo de água e da condutividade elétrica do solo, e com o auxílio de um programa de mapeamento superficial em 3D “Surfer”, analisou-se o perfil de distribuição da solução no solo, durante todo o ensaio, proporcionando informações básicas sobre a formação do bulbo molhado.

Tendo como propósito entender as diferenças entre os valores de CE individual estimada dentro de um volume de controle, assumiu-se um volume de solo central no bulbo molhado para efetuar uma análise de uniformidade de distribuição comparativa. Desta forma, foi possível calcular os coeficientes de uniformidade de Christiansen (1941) para as umidades estimadas após cada aplicação da solução, nas vazões de 2 e 4 L h⁻¹, seguindo-se a metodologia adaptada por Wu & Gitlin (1983) e Ould Mohamed El-Hafedh et al. (2001), por meio da seguinte equação:

$$CUC=100 \left[1 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{XN} \right] \quad (3)$$

em que,

CUC - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição de Christiansen (%);

X_i – Umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$); ou Condutividade elétrica estimada ($dS m^{-1}$);

\bar{X} – Umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$); ou Condutividade elétrica média ($dS m^{-1}$);

N - Número de pontos estimados.

O volume de controle adotado foi 0,20 x 0,20 x 0,20 m, respectivamente, comprimento, largura e profundidade, tomando como referência o gotejador superficial.

Os resultados da distribuição da solução no solo permitiram identificar informações referentes aos efeitos da relação solução-solo durante a formação do bulbo molhado, que podem auxiliar no dimensionamento e manejo da irrigação por gotejamento.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

Na Figura 3 encontram-se os valores dos Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) para a condutividade elétrica, calculados a partir do volume de controle para as diferentes vazões e profundidades de aplicação.

Os sistemas enterrados apresentaram os maiores valores iniciais de CUC, 96 e 70 % (ENT2 e ENT4, respectivamente), comparado aos sistemas superficiais (70% – SUP2 e 60% – SUP4). Nos dois sistemas (enterrado e superficial) as menores vazões apresentaram melhor comportamento em relação à maior e houve, para todos os tratamentos, menor variação dos dados em função do volume. Isso ocorreu pelo fato de que nos sistemas de maior vazão uma maior área é atingida, e como no cálculo do CUC adotou-se um volume de controle, por esse motivo os sistemas de vazão 2 L.h⁻¹ apresentaram melhores CUC.

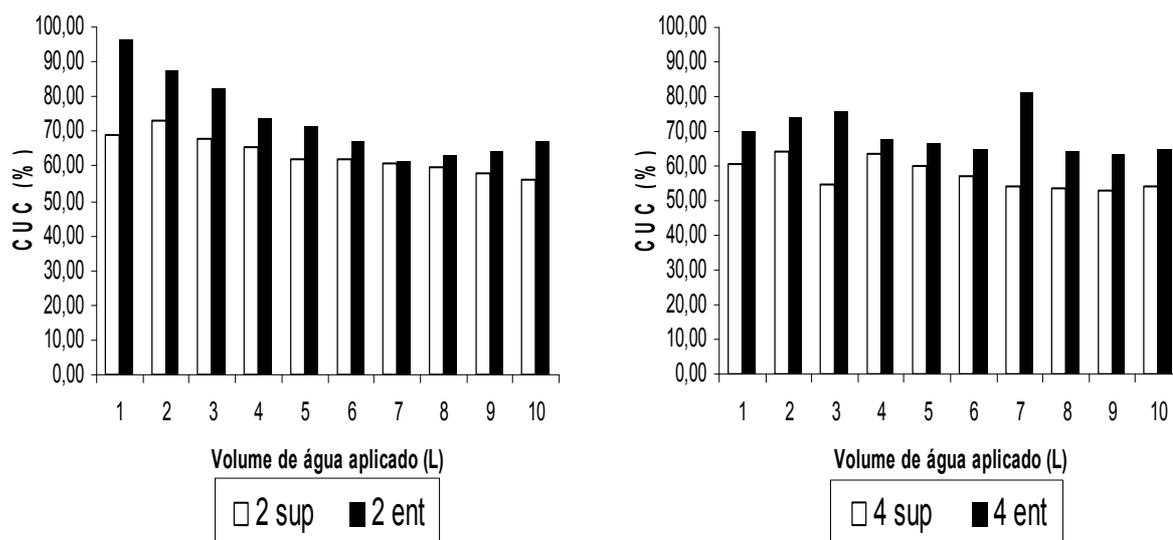


Figura 3. Coeficiente de Uniformidade de Christiansen para a condutividade elétrica em função da vazão e do sistema para uma determinada região de controle.

As médias dos resultados demonstram, segundo a classificação do CUC, uma distribuição da solução no solo razoável para o ENT2, ruim SUP2 e ENT4 e inaceitável para o SUP4, sendo a uniformidade afetada negativamente na maioria dos casos com o acréscimo de volume aplicado, já que com o aumento da umidade há uma maior distribuição de água e sais no solo, assim com a aplicação de menores valores ocorre uma menor distribuição, e com o aumento, ocorre uma maior distribuição, fazendo com que os valores diminuam seu valor. Este resultado reflete a não homogeneidade no volume de solo molhado próximo ao gotejador. Em cultura intensiva, o teor de água dos solos pode atingir mais de 80% de uniformidade de distribuição (Keller & Karmeli, 1975). Ould Mohamed El-Hafedh et al. (2001) apresentam um coeficiente de uniformidade de 90% e sugerem que este valor deve ser aceito no sistema de irrigação por gotejamento, principalmente, devido à saturação das zonas próximas ao gotejador. Também, Zocoler (1999) recomenda valores entre 82 a 88% do CUC, para as culturas cujo sistema radicular explora, basicamente, os primeiros 0,40 m do solo.

Nas Figuras de 4 a 7 foram comparados os perfis de condutividade elétrica (dS m^{-1}) após cada aplicação de nitrato de potássio (KNO_3) no solo para as vazões de 2 e 4 L h^{-1} no sistema superficial e enterrado. Para uma maior visualização, cada isolinha representa um acréscimo de $0,03 \text{ dS m}^{-1}$, sendo a CE a forma de estimar indiretamente a concentração de solutos.

Observa-se que o tamanho dos perfis de distribuição de CE tem relação com a disponibilidade da solução aplicada, e não foi notada estabilização do crescimento do perfil em nenhum dos tratamentos durante as aplicações. No sistema ENT2, o aumento do perfil em largura x profundidade foi de 0,08 m x 0,15 m no primeiro litro aplicado, até 0,33 m x >0,45 m para o décimo litro aplicado, não sendo possível mensurar o tamanho em profundidade correta pelo fato de que a sonda instalada em maior profundidade estava a 0,45 m. No sistema ENT4 o aumento entre o primeiro e o último litro aplicado foi de 0,18 m para a largura e a superior a 0,20 m para a profundidade, no sistema SUP2 foi de 0,10 m e 0,25 m e no SUP4 foi de 0,13 m e > 0,20 m, respectivamente para a largura e profundidade; no entanto, tomando a isolinha referente a $0,14 \text{ dS m}^{-1}$, a primeira após a linha de $0,11 \text{ dS m}^{-1}$, nota-se que houve uma menor crescimento do perfil em todas as direções, em compensação ocorre o aumento da concentração, isto ocorreu principalmente a partir dos 4 L nos sistemas SUP2, SUP4 e ENT4.

Comparando os sistemas de menor vazão, as áreas dos perfis promovidos pelo tratamento ENT2 são maiores que as do tratamento SUP2, sendo a largura 0,17 m superior e a profundidade do ENT2 supera a profundidade da última sonda enquanto a do SUP2 atinge apenas 0,31 m. Não foi notado esta proporção de diferença entre o ENT4 e SUP4.

Com relação às interações entre os diferentes perfis, observou-se uma distribuição em gradiente da solução no solo, sendo encontrado os maiores valores de CE da solução próximo ao ponto de emissão (0,38, 0,33, 0,31 e $0,29 \text{ dS m}^{-1}$ para o ENT4, SUP4, ENT2 e SUP2, respectivamente) e, conseqüentemente, uma diminuição desta, à medida que se aproxima da frente de molhamento, mesmo resultado encontrado por Souza et al. (2007) para um solo arenoso. Franco (2009), desenvolvendo projeto com aplicação de nitrato de potássio no solo observou que as maiores médias concentraram-se nas camadas superiores, tanto para solos argilosos quanto para solos arenosos. Além disso, o mesmo autor aplicando o nitrato de potássio em diferentes taxas obteve o mesmo resultado que o do trabalho atual, em que as taxas de aplicação apresentaram maior poder de carreamento, no entanto, as maiores médias ficaram retidas nas camadas superficiais.

Uma hipótese para este fenômeno pode ser baseada no fato de que os íons mais solúveis acompanham a frente de avanço da água, sendo que esta se movimenta um pouco a frente dos sais, em direção ao extremo do bulbo. Conforme Valocchi (1984) e Blanco &

Follegati (2001), os sais movimentam-se mais lentamente no solo do que à frente de avanço da água (fluxo de massa), o que proporcionará uma distribuição heterogênea da concentração destes.

Outra hipótese, segundo Rivera (2004), esta baseada na CTC (capacidade de troca catiônica) do solo, ou seja, o potássio da solução do solo interagiu com o complexo de troca de cátions, sendo, portanto este elemento retido no solo na região mais próxima do ponto de aplicação, de forma que a solução que se deslocou para as regiões mais extremas do bulbo molhado possuía uma concentração iônica menor. Mesmo resultado obtido por Franco (2009), em que em suas leituras iniciais, não foi possível contabilizar o potássio e sim o nitrato, demonstrando que o nitrato e potássio possuem caminhos diferenciados no deslocamento dentro do bulbo.

Comparando os sistemas enterrados aos sistemas superficiais, nos perfis de CE, verifica-se que na menor vazão os sais são disponibilizados a uma distância (vertical) bem superior ao ponto de emissão, sendo esta diferença não observada nos sistemas de vazão superior.

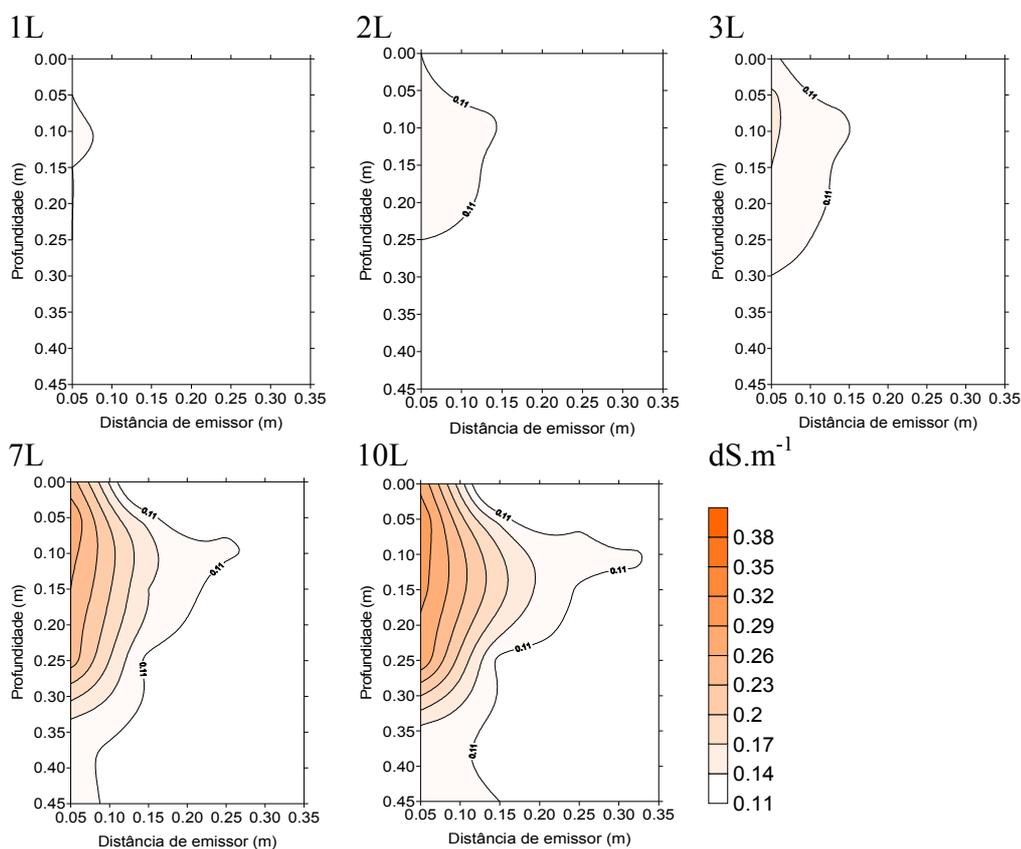


Figura 4. Comparação entre os perfis de distribuição de CE (dS m^{-3}) ao final do processo de aplicação da água no solo (1 a 10L). Vazão de 2 L h^{-1} no sistema enterrado.

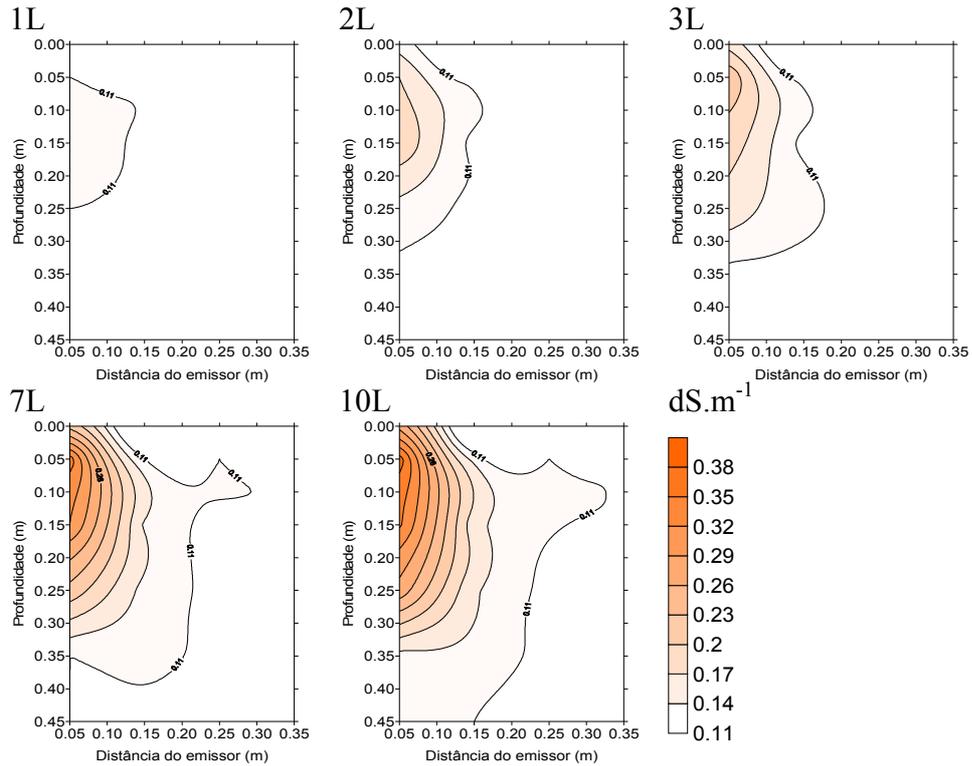


Figura 5. Comparação entre os perfis de distribuição de CE (dS m^{-3}) ao final do processo de aplicação da água no solo (1 a 10L). Vazão de 4 L h^{-1} no sistema enterrado.

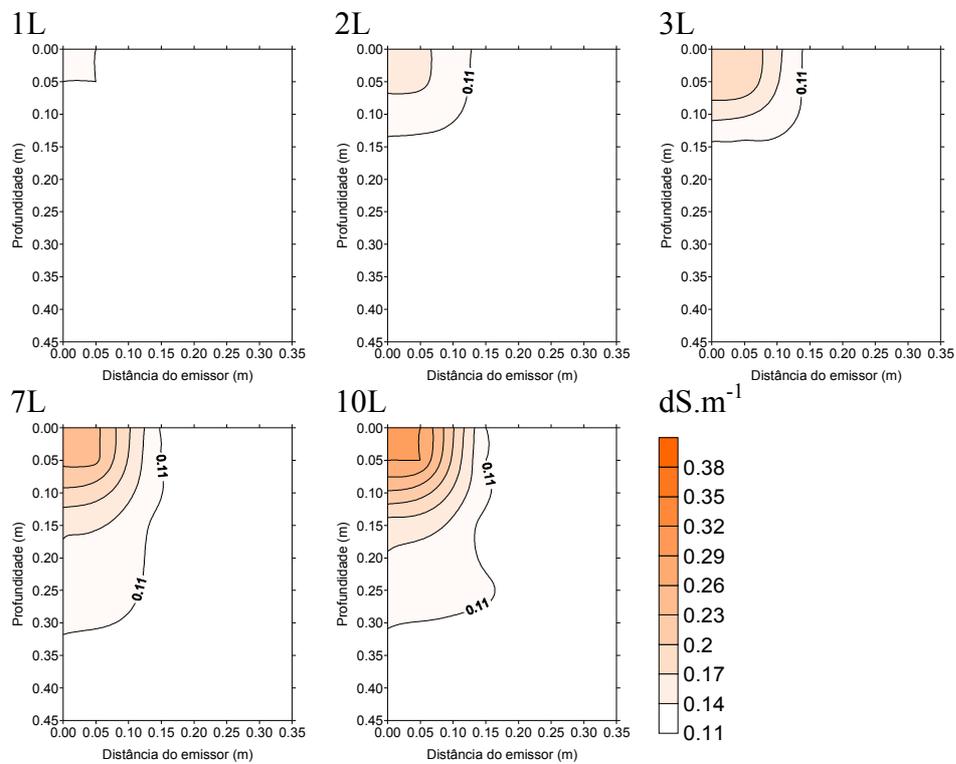


Figura 6. Comparação entre os perfis de distribuição de CE (dS m^{-3}) ao final do processo de aplicação da água no solo (1 a 10L). Vazão de 2 L h^{-1} no sistema superficial.

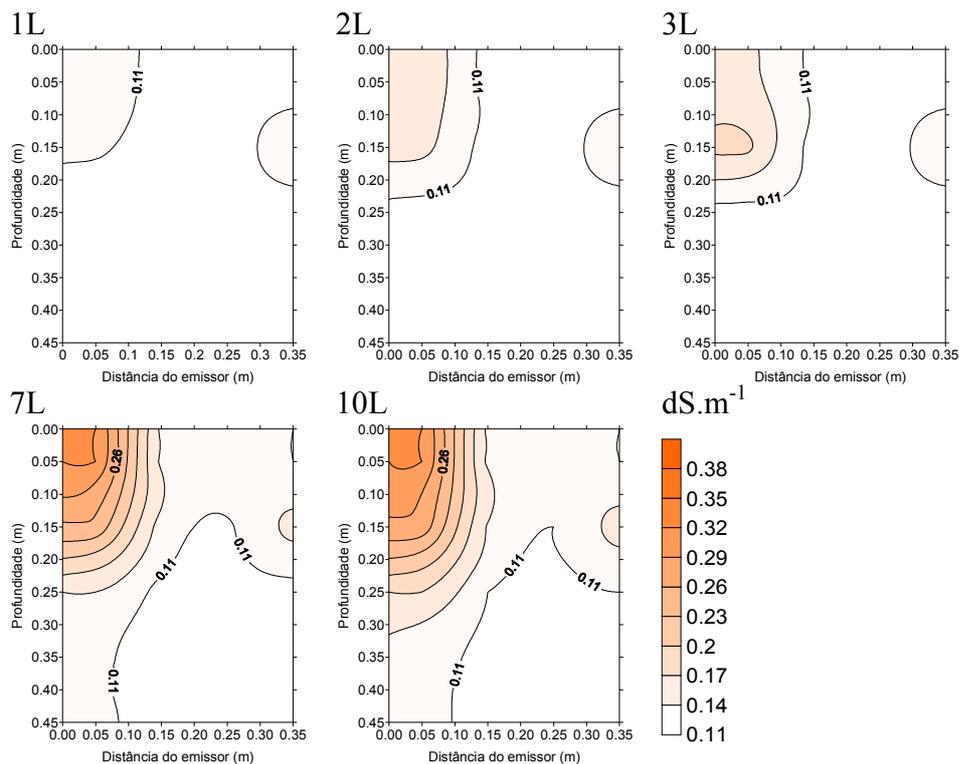


Figura 7. Comparação entre os perfis de distribuição de CE (dS m^{-3}) ao final do processo de aplicação da água no solo (1 a 10L). Vazão de 4 L h^{-1} no sistema superficial.

6 CONCLUSÕES

As seguintes conclusões podem ser retiradas dos resultados: (1) Em relação aos sistemas de gotejamento superficiais, os sistemas enterrados atingiram uma maior largura e profundidade em relação ao ponto de emissão. (2) Os maiores valores de condutividade elétrica foram obtidos próximos ao ponto de emissão.

7 REFERÊNCIAS

- BEJAT, L. et al. Solute transport as related to soil structure in unsaturated intact soil blocks. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 64, p. 818-826, 2000.
- BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Recuperação de um solo salinizado após cultivo em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 76 - 80, 2001.
- CHRISTIANSEN, J. E. The uniformity of application of water by sprinkler systems. *Agricultural Engineering*; St. Joseph, v. 22, p. 89-92, 1941.
- CLOTHIER, B. E.; SAUER, T. J. Nitrogen transport during drip fertigation with urea. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 52, p. 345-349, 1988.

COELHO, E. F.; ARRUDA, F. B. Aplicações da técnica de TDR: manejo de água no solo. In: MATSURA, E. E. et al. (Eds.). **Aplicações da técnica da TDR na Agricultura**. Campinas: Unicamp, Feagri, 2001. cap. 7, p. 129-145.

COELHO, E. F.; OR, D; SOUSA, V. F. Avaliação de parâmetros hidráulicos para modelos de distribuição de água no solo sob gotejamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF v. 34, n.4, p.651-657, abr. 1999.

COELHO, E. F. et al. Produtividade do meloeiro sob diferentes intervalos de irrigação e disposição de linhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 309-315, 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro 1999. 212 p.

FARIA, L. F.; COELHO, R. D.; RESENDE, R. S. Variação de vazão de gotejadores de fluxo normal enterrados na irrigação do café. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 589-602, 2004.

FRANCO, E. M. **Monitoramento da dinâmica da água e solutos em um perfil de solo, sob sistema de fertirrigação por gotejamento, utilizando sonda de capacitância e extratores de solução**. 2009. 85 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

GOMES, E. P.; SOUSA, A. P. Produtividade da alface (*Lactuca sativa* L.) em função dos valores de lâminas de água aplicados por gotejamento superficial e subsuperficial. **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 1, p.35-41, 2002.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora, Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Profundidade de instalação da linha de gotejadores em tomateiro para processamento industrial. **Horticultura brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 2, p. 206-210, 2002.

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

NADLER, A.; GAMLIEL, A.; PERETZ, I. Practical aspects of salinity effect on TDR-measurement water content: a field study. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, p. 1070-1076, 1999.

ORON, G. et al. Pear response to saline water application under subsurface drip irrigation. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5, 1991, St. Joseph. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 1991. p. 97-103.

OULD MOHAMED EL-HAFEDH, A.V.; DAGHARI, H.; MAALEJ, M. Analysis of several discharge ratespacing- duration combinations in drip irrigation system. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 52, p. 33-52, 2001.

RIVERA, R. N. C. **Modelagem da dinâmica da água e do potássio na irrigação por gotejamento superficial**. 2004. 89 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SILVA, T. S. M. et al. Condutividade elétrica da solução de solo em função da condutividade elétrica aparente e da umidade do solo sob aplicação de cloreto de potássio com uso da reflectometria no domínio do tempo. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 2, p. 174-183, 2005.

SOUZA, V. F.; COELHO, E. F. Manejo de fertirrigação em fruteiras. In: FOLEGATTI, M. V. et al. (Coords.). **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. p. 289-317.

SOUZA, C. F.; FOLEGATTI, M. V.; OR, D. Distribution and storage characterization of soil solution for drip irrigation. **Irrigation Science**, New York, v. 27, n. 4, p. 277-288, 2009.

SOUZA, C.F.; et al. Calibração da reflectometria no domínio do tempo (TDR) para a estimativa da concentração da solução no solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 282-291, 2006a.

SOUZA, C. F. et al. Sondas de tdr para a estimativa da umidade e da condutividade elétrica do solo. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 12-25, 2006b.

SOUZA, C.F. et al. Uso da reflectometria no domínio do tempo (TDR) para avaliar a distribuição do nitrato no volume molhado do solo sob fertirrigação. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 19, n. 2, p. 112-122, 2007.

TOMMASELLI, J. T. G.; BACCHI, O. O. S. Calibração de um equipamento de TDR para medida de umidade de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, p. 1145-1154, 2001.

VALOCCHI, A. J. Describing the transport of ion-exchanging contaminants using an effective Kd approach. **Water Resources Research**, Washington, DC, v. 20, p. 499-503, 1984.

WARD, A. L.; KACHANOSKI, R. G.; ELRICK, D. E. Analysis of water and solute transport away from a point source. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 59, p. 699-706, 1995.

WU, I. P.; GITLIN, H. M. Drip irrigation application efficiency and schedules. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 26, p. 92-99, 1983.

ZOCOLER, J. L. Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação In: CURSO CAPACITAÇÃO EM AGRICULTURA IRRIGADA, 1., 1999, Ilha Solteira, **Anais...** Ilha Solteira: UNESP/FEIS, 1999, p. 33-36.