

# DEFINIÇÃO DO POSICIONAMENTO DE SENSORES PARA MONITORAMENTO DA ÁGUA NO SOLO EM BANANEIRA IRRIGADA POR DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

EUGÊNIO F. COELHO<sup>1</sup>, ALISSON J. P. DA SILVA<sup>2</sup>, JARBAS H. DE MIRANDA<sup>3</sup>

**RESUMO:** O uso eficiente da água na irrigação localizada dependerá, além de outros fatores, também do correto monitoramento da água no solo. Portanto, este trabalho teve como objetivo caracterizar as zonas efetivas de comprimento de raízes e de extração de água, bem como indicar o correto posicionamento de sensores de água no solo para o manejo da irrigação por gotejamento na bananeira em fase de produção. No experimento, conduzido na Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, foram estudados diferentes sistemas de irrigação localizada, diante dos seguintes tratamentos: T1 - dois emissores de 4 L h<sup>-1</sup> por planta em uma lateral por fileira de plantas; T2 - quatro emissores de 4 L h<sup>-1</sup> por planta em uma lateral por fileira de plantas; T3 - cinco emissores de 4 L h<sup>-1</sup> por planta em faixa contínua com uma lateral por fileira. Pelos resultados obtidos, pode-se observar que as regiões mais adequadas para a instalação de sensores de umidade no solo nos tratamentos T1, T2 e T3 são as limitadas pelas distâncias e profundidades de 0,2 m e 0,4 m; 0,5 m e 0,35 m; 0,55 m e 0,35 m, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** umidade do solo, manejo de irrigação, tensiometria, irrigação localizada.

## SENSOR PLACEMENT FOR SOIL WATER MONITORING IN BANANA CROP IRRIGATED BY DRIP IRRIGATION SYSTEMS

**ABSTRACT:** The efficient use of water for drip irrigation will depend, among other factors, the correct monitoring of water in the soil profile. This work aimed to characterize root zones of effective root length and effective root water uptake and also to indicate the correct sensors location in the soil profile for drip irrigation management in banana crop during the production stage of the first cycle. The experiment was carried out at the Embrapa Cassava & Tropical Fruits, under different systems: T1 - one lateral per plant row with two 4 L h<sup>-1</sup> emitters per plant; T2 - one lateral per plant row with four 4 L h<sup>-1</sup> emitters per plant; T3 - one lateral per plant row as line source, with five 4 L h<sup>-1</sup> emitters per plant. The results showed that the more appropriate regions for soil water sensor placement in treatments T1, T2 and T3, should correspond to zones limited by distances and depths of 0.2 m and 0.4 m, 0.5 m and 0.35 m, 0.55 m and 0.35 m, respectively.

**KEYWORDS:** soil moisture, irrigation management, tensiometry, drip irrigation.

## INTRODUÇÃO

A eficiência do uso da água em irrigação está diretamente relacionada ao seu manejo aplicado à cultura e que, por sua vez, depende de variáveis do sistema de irrigação e do sistema solo-água-planta. Apesar de a irrigação por gotejamento apresentar alto potencial de utilização eficiente da água, isso nem sempre é alcançado, devido ao inadequado manejo dos sistemas (HUTMACHER et al., 1994). Uma das principais técnicas utilizadas no manejo de água dos pomares irrigados é a utilização de sensores que estimam o conteúdo de água no solo, sendo os mais usuais: medida da condutividade elétrica/térmica ou capacitância, sonda de nêutrons, atenuação de raios gama,

<sup>1</sup> Pesquisador, Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas - BA, Fone: (0XX75) 3312-8021, eugenio@cnpmf.embrapa.br.

<sup>2</sup> Professor, Instituto Federal Baiano, Câmpus Senhor do Bonfim, Senhor do Bonfim - BA, alissonagr@gmail.com.

<sup>3</sup> Prof. Associado, Departamento de Engenharia de Biossistemas, LEB/ESALQ/USP, Piracicaba - SP, Fone: (19) 3429-4123 ramal: 210, jhmirand@esalq.usp.br.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 19-9-2008

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 1<sup>a</sup>-12-2009

tensiometria, TDR (reflectometria no domínio de tempo), FDR (reflectometria no domínio da frequência) e tensiômetros (HILLEL, 1998).

Ao utilizar esses sensores para definir o quando ou quanto irrigar, a maior dificuldade encontrada por seus usuários consiste em definir o número de sensores a serem instalados na área, bem como o local de sua instalação. A definição do número de sensores a serem instalados na área é fortemente dependente da variabilidade espacial do solo (HENDRICKX & WIERENGA, 1990, DOOREMBOS & KASSAM, 1994), e das práticas de conservação de água no solo realizada no pomar (HENSLEY & DEPUTY, 1999). STEGMAN (1982) recomendou o uso de quatro sensores para cada 65 ha. SILVEIRA & STONE (2001) indicam a instalação de três baterias de tensiômetros na área irrigada.

As recomendações para a localização dos sensores no solo, encontradas na literatura, referem-se a um número limitado de culturas e têm como base o conhecimento da sua distribuição radicular, onde o desenvolvimento desses sistemas radiculares, sob irrigação por gotejamento, é condicionado ao volume de solo molhado pelos emissores e apresentam a densidade de comprimento das raízes decrescente com a profundidade (GOLDBERG et al., 1971; STEVENS & DOUGLAS, 1994; MICHELAKIS et al., 1993). Entretanto, estudos têm mostrado que a extração de água pelas raízes nem sempre apresenta linearidade em relação à densidade do comprimento das mesmas (CLOTHIER et al., 1990). Nesse sentido, COELHO et al. (2007) indicam que a correta localização dos sensores deve ser feita levando em consideração as zonas efetivas de extração de água pelas raízes das culturas, que variam em função do tipo de solo, sistema de irrigação, variedade e idade das plantas (CARVALHO et al., 1999; OLIVEIRA et al., 1998; ZHANG et al., 1996).

A aplicação da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), nos estudos que visam à determinação das zonas de extração de água pelas raízes das culturas, vem gerando resultados importantes para o manejo da irrigação localizada (ANDREU et al., 1997; CLOTHIER & GREEN, 1994; COELHO & OR, 1999; MMOLAWA & OR, 2000), principalmente por essa técnica permitir a avaliação de processos de distribuição temporal e espacial da extração de água do solo pelas culturas. Para as frutíferas tropicais, essas informações ainda são escassas, e no caso específico da bananeira, não se tem registro na literatura de indicação dos locais de instalação dos sensores de água no solo com base nas zonas de extração de água pelas raízes dessa cultura.

Diante disso, este trabalho teve o objetivo de caracterizar as zonas efetivas de comprimento de raízes e extração de água da bananeira quando irrigada por diferentes sistemas de irrigação por gotejamento, bem como indicar o correto posicionamento de sensores de água no solo para o manejo da água nesses sistemas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido junto à Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, em Cruz das Almas - BA (12°48'S; 39°06'W; 225 m de altitude), onde se registra pluviosidade média anual de 1.143 mm. Utilizou-se de área plantada com bananeira, cultivar BRS Tropical, no espaçamento 3,0 x 2,5 m que, durante o período da coleta de dados, para o presente estudo, se encontravam na fase de produção do primeiro ciclo.

O solo da área experimental é classificado como sendo Latossolo Amarelo de classificação textural Franco-argilo-arenoso e apresenta as seguintes características físicas, obtidas de acordo a metodologia preconizada pela EMBRAPA (1997): areia total 444 g kg<sup>-1</sup>; silte 131 g kg<sup>-1</sup>; argila 425 g kg<sup>-1</sup>.

A umidade referente ao potencial de -10 kPa foi de 0,2933 kg kg<sup>-1</sup> e a umidade referente a -1.500 kPa foi de 0,1735 kg kg<sup>-1</sup>. Três diferentes sistemas de irrigação localizada por gotejamento foram identificados como os tratamentos T1, T2 e T3, em que: T1 - dois emissores de 4 L h<sup>-1</sup> por planta em uma lateral por fileira de plantas; T2 - quatro emissores de 4 L h<sup>-1</sup> por planta em uma

lateral por fileira de plantas; T3- cinco emissores de  $4 \text{ L h}^{-1}$  por planta em faixa contínua em uma lateral por fileira de plantas. Cada tratamento foi constituído por 10 plantas, sendo as medidas das distribuições de raízes, do potencial mátrico, da água disponível no solo e da extração de água, feitas em uma planta. O volume de água aplicado foi comum em todos os tratamentos, tendo sido determinado a partir da lâmina real necessária (KELLER & BLIESNER, 1990), em que a evapotranspiração da cultura foi obtida considerando coeficientes de cultura sugeridos por DOOREMBOS & KASSAM (1994).

A frequência de irrigação foi diária nos períodos de necessidade de irrigação. A adubação foi feita conforme recomendações de BORGES & OLIVEIRA (2000), sendo o nitrogênio e o potássio aplicados via água de irrigação numa frequência semanal. A umidade do solo foi monitorada a várias distâncias horizontais ( $r_i$ ) e profundidades ( $z_i$ ), numa malha de  $0,20 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}$  de um plano vertical, com origem junto da planta, e seguindo a direção da fileira de plantas, com limites da distância horizontal (R) de  $1,0 \text{ m}$  e vertical (Z) de  $1,0 \text{ m}$ .

Sondas de TDR, de três hastes de  $0,10 \text{ m}$  de comprimento, foram instaladas horizontalmente nos diversos pontos da malha ( $r_i, z_i$ ), de maneira a obter a umidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) em cada posição (Figura 1), tendo sido previamente calibradas conforme eq. (1):

$$\theta = 6,438 \varepsilon^3 - 5,5246 \varepsilon^2 + 2,0373 \varepsilon - 0,0745 \quad (1)$$

em que,

$\varepsilon$  - constante dielétrica do solo.

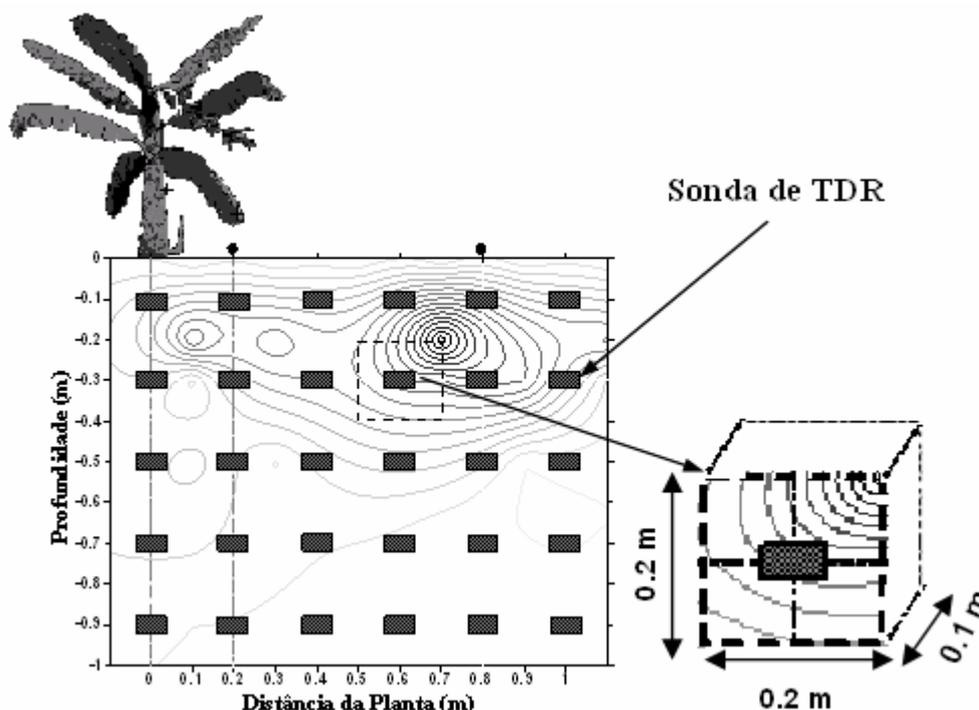


FIGURA 1. Monitoramento da umidade na região do sistema radicular da bananeira, com sondas de TDR. **Monitoring soil water content with TDR probes at the region of the root system.**

À medida que foram sendo instaladas as sondas de TDR, amostras de  $0,0005 \text{ m}^3$  de solo e raízes foram retiradas no perfil a fim de determinar a distribuição radicular da bananeira. As raízes foram separadas do solo por um processo de lavagem (BOHM, 1979); em seguida, digitalizadas em computador, conforme COELHO et al. (2005), sendo o comprimento “Lr” das mesmas obtido com

uso do *software* Rootedge (KASPAR & EWING, 1997). A densidade de comprimento de raízes (DCR) foi determinada pela eq.(2):

$$DCR = \frac{L_r}{V_r} \quad (2)$$

em que,

DCR - densidade de comprimento de raízes,  $m\ m^{-3}$ ;

$L_r$  - o comprimento de raízes, m, e

$V_r$  - o volume da amostra,  $m^3$ .

Trinta dias após as sondas serem instaladas, deu-se início às leituras de umidade no solo, o que foi feito em cada plano durante cinco dias com as sondas de TDR, a partir de um sistema de aquisição de dados composto por um equipamento de TDR e um armazenador de dados CR10X, programado para armazenar leituras da umidade do solo a cada 10 minutos. Em cada ponto de monitoramento do perfil ( $r_i, z_i$ ), calculou-se o volume de água extraído [ $EA_{(r_i, z_i)}$ ], o que foi feito a partir da diferença entre as umidades do solo tomadas em um tempo logo após a irrigação (tempo correspondente àquele em que a água infiltrada teria atingido a sonda mais profunda do plano) identificado como (j+1), e um tempo antes da próxima irrigação, denominado de (j+2), assim como se encontra ilustrado na Figura 2.

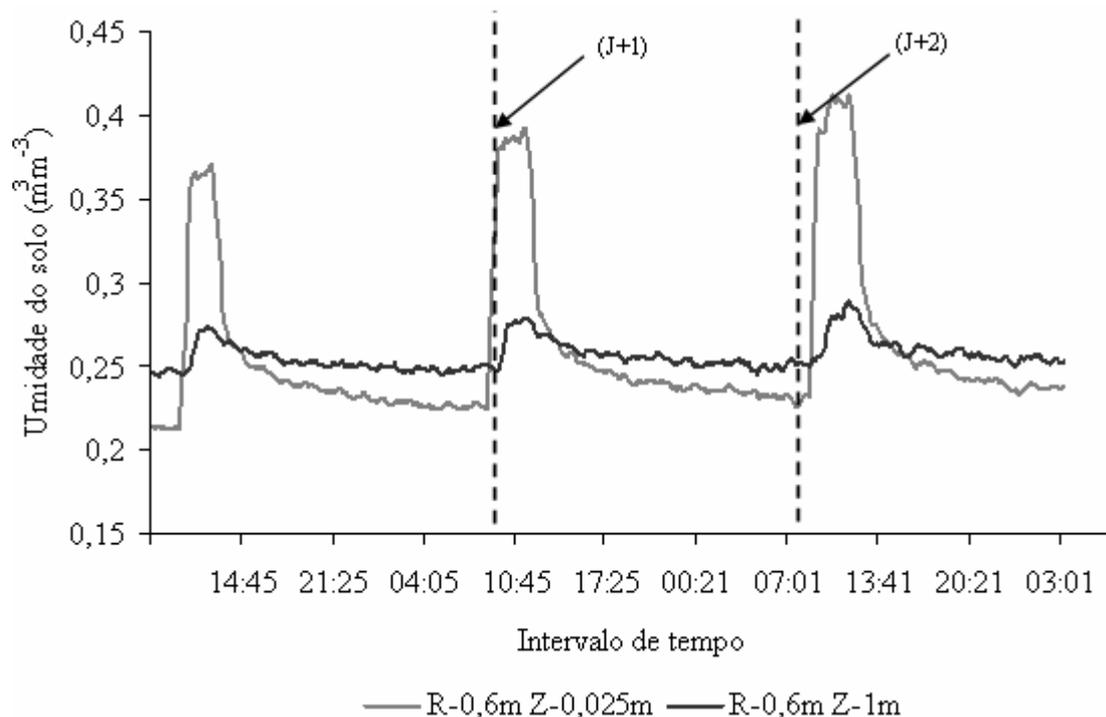


FIGURA 2. Identificação do tempo correspondente àquele em que a água infiltrada atinge a sonda mais profunda do plano (J+1) e o tempo antes da próxima irrigação (J+2). **Identifying the time regarded to that one in which infiltrated water reaches the deepest probe of the plane (J + 1) and the time before next irrigation (J+2).**

De posse dos dados de umidade de todas as sondas, foi possível estimar as regiões de extração de água pela planta nos diversos pontos da malha [ $EA_{(R_i, Z_i)}$ ] pela eq. (3) ( $m^3\ m^{-3}$ ), conforme apresentam COELHO & OR (1997):

$$EA_{(R_i Z_i)} = \theta_{(J+1)} - \theta_{(J+2)} \quad (3)$$

em que,

$\theta_{(J+1)}$  - umidade do solo logo após a irrigação,  $m^3 m^{-3}$ , e

$\theta_{(J+2)}$  - umidade do solo imediatamente antes da irrigação subsequente,  $m^3 m^{-3}$ .

Os limites de concentração das raízes da bananeira foram estabelecidos tomando-se como base o conhecimento da profundidade efetiva das raízes (PER) e a distância efetiva das raízes (DER), sendo “PER” definido pela profundidade que contém 80% do total de comprimento de raízes (ARRUDA, 1989) e “DER” a distância que contém 80% do total de comprimento de raízes (VIEIRA et al., 1996). Conforme sugerido por SANTOS (2002), a partir do conhecimento da área de maior atividade das raízes, caracterizou-se a profundidade efetiva de extração (PEe), correspondendo à região do perfil do solo a partir da superfície na qual se verifica pelo menos 80% do total de extração de água pelas raízes, e a distância efetiva de extração (DEe), correspondente à região do perfil do solo a partir da planta onde se observam pelo menos 80% do total de extração de água pelas raízes da cultura. As percentagens de água disponível no solo foram determinadas em cada ponto monitorado do perfil ( $r_i, z_i$ ), tomando como base a curva característica de água do solo, empregando-se para tal a eq. (4):

$$AD_{(R_i, Z_i)} = \left( \frac{\theta_{(R_i, Z_i)} - \theta_{pmp}}{\theta_{cc} - \theta_{pmp}} \right) 100 \quad (4)$$

em que,

$AD_{(R_i, Z_i)}$  - percentagem de água disponível em um ponto ( $r_i, z_i$ ) do perfil do solo;

$\theta_{(R_i, Z_i)}$  - umidade volumétrica em um ponto ( $r_i, z_i$ ) do perfil do solo,  $m^3 m^{-3}$ ;

$\theta_{pmp}$  - umidade referente ao ponto de murcha permanente,  $m^3 m^{-3}$ , e

$\theta_{cc}$  - umidade referente à capacidade de campo,  $m^3 m^{-3}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que a bananeira em fase de produção e irrigada por um sistema que utiliza dois emissores de  $4 L h^{-1}$  por planta (T1), apresentou o valor da profundidade efetiva de raízes (PER) de 0,50 m, e a distância efetiva de raízes (DER) de 0,55 m (Figura 3a). Nas plantas irrigadas por um sistema que utiliza quatro emissores de  $4 L h^{-1}$  por planta (T2), obtiveram-se a PER de 0,60 m e a “DER” de 0,70 m (Figura 3b). Naquelas plantas de bananeira submetidas a um sistema de irrigação contendo emissores de  $4 L h^{-1}$ , distribuídos em faixa contínua na linha de irrigação, encontraram-se a PER de 0,35 m e a DER de 0,7 m (Figura 3c).

No tratamento T1, 80% do total da água extraída pela planta ocorreram aproximadamente até à distância da planta de 0,20 m e à profundidade de 0,40 m (Figura 4a). No tratamento T2, a atividade das raízes da planta foi estendida no perfil do solo quando comparado ao sistema T1, em que observou que aproximadamente 80% da extração de água ocorreram na região limitada pela distância da planta de 0,50 m e profundidade de 0,35 m (Figura 4b). No sistema T3, verificou-se que 80% do total de água extraída pela planta localizaram-se à distância da planta próxima de 0,55 m e à profundidade de 0,35 m (Figura 4c).

Assim como observaram ANDREU et al. (1997), as zonas de extração de água foram influenciadas pela disposição dos emissores em relação à planta, onde em se aumentando o número de emissores na linha de irrigação, abrangendo distâncias maiores da planta, aumentou-se também a distância efetiva de extração de água da mesma. Corroborando os resultados obtidos por COELHO et al. (2007), verificou-se que as regiões do solo limitadas pelas distâncias e profundidades efetivas de extração de água pelas raízes das plantas foram menores que as regiões limitadas pelas distâncias e profundidades efetivas de comprimento de raízes.

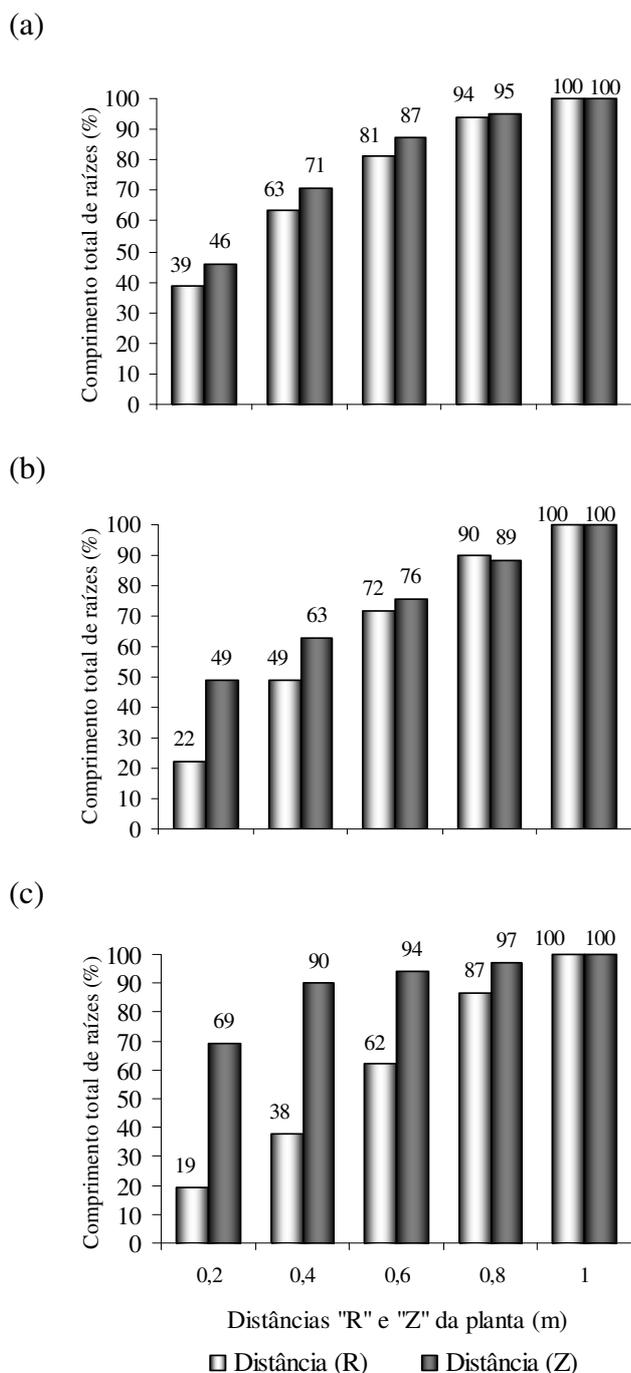


FIGURA 3. Percentagens de comprimento total de raízes em distâncias horizontais (R) e verticais (Z) do pseudocaule da bananeira para os tratamentos T1 (a), T2 (b) e T3 (c). **Percentages of total root length at horizontal (R) and vertical (Z) distances from the pseudo stem of the banana for treatments T1 (a), T2 (b) and T3 (c).**

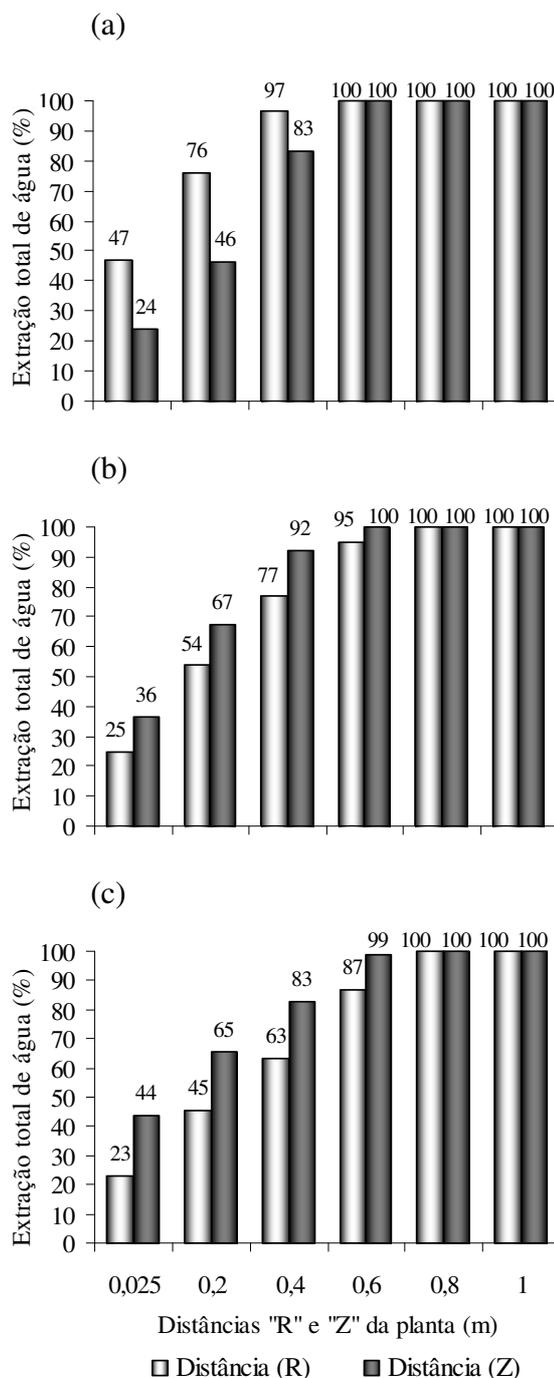


FIGURA 4. Percentagens de extração de água pelas raízes em distâncias horizontais (R) e verticais (Z) do pseudocaule da bananeira para os tratamentos T1 (a), T2 (b) e T3 (c). **Percentages of water extraction by roots at horizontal (R) and vertical (Z) distances from the pseudo stem of the banana for treatments T1 (a), T2 (b) and T3 (c).**

Nas Figuras 5a, 5b e 5c, encontram-se ilustrados os teores de água disponível no perfil do solo no momento após o início da irrigação, no tempo (J+1), para os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente.

Nas Figuras 6a, 6b e 6c, estão dispostas as isolinhas dos valores de água disponível no solo verificado em um tempo imediatamente antes da próxima irrigação, ou seja, no tempo (J+2). Sobrepondo essas isolinhas, têm-se as linhas tracejadas em cor azul representando as regiões de extração de água pelas raízes da bananeira.

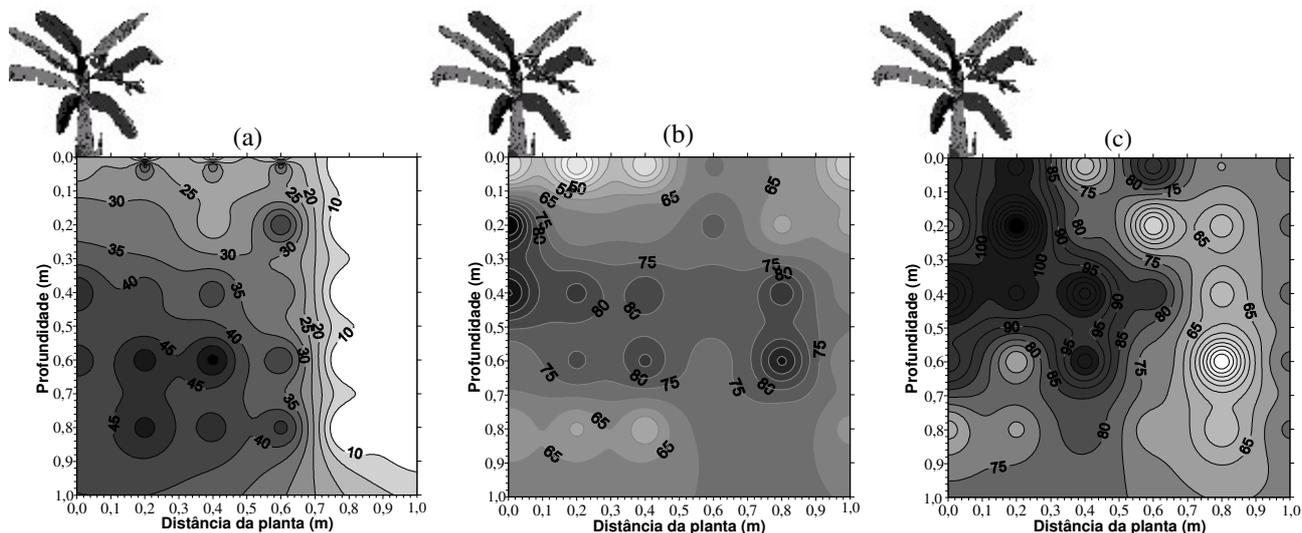


FIGURA 5. Teores de água disponível no perfil do solo no tempo (J+1), nos tratamentos T1(a), T2(b) e T3 (c). Available water content in the soil profile at time (J+1), at treatments T1 (a), T2 (b) and T3 (c).

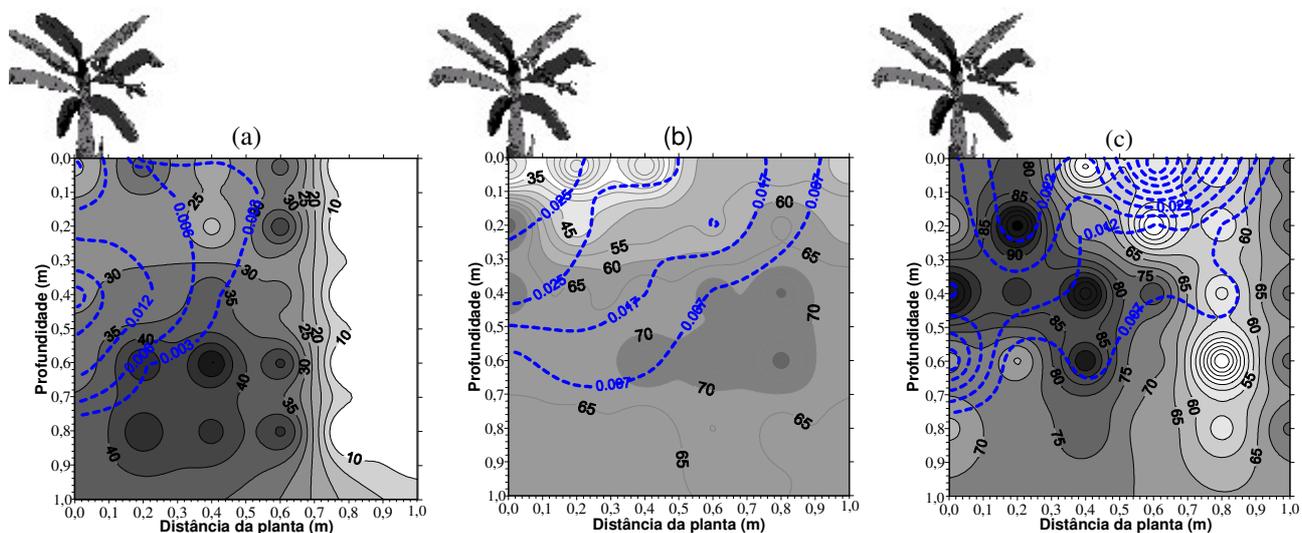


FIGURA 6. Teores de água disponível no perfil do solo no tempo (J+2) e regiões de extração de água (linhas tracejadas em azul) nos tratamentos T1(a), T2(b) e T3 (c). Available water content in the soil profile at time (J+2) and regions of water extraction (blue dashed lines), at treatments T1 (a), T2 (b) and T3 (c).

As variações dos teores de água disponível no solo para o intervalo das irrigações foram mais intensas na área que compreende a região de extração de água (linha tracejada azul) em todos os sistemas avaliados. Nota-se que essas regiões apresentavam as maiores percentagens de água disponível no tempo (J+1), o que está de acordo com os resultados obtidos por COELHO & OR (1999) e SANTOS et al. (2005). Assim como evidenciaram CLAUSNITZER & HOPMANS (1994), CLOTHIER & GREEN (1994) e ANDREU et al. (1997), esses resultados mostram que a

distribuição de água no solo pelos diferentes sistemas de irrigação localizada constitui uma variável determinante na distribuição de raízes e nas zonas de extração de água no solo pela planta.

As Figuras 5a, 5b e 5c ilustram o local ideal para a locação dos sensores para os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. A área que compreende a interseção das linhas que representam DEe e PEe são indicadas para o posicionamento de sensores de água do solo. As corretas localizações de tensiômetros para os sistemas representados pelos tratamentos T1, T2 e T3 estão ilustradas nas Figuras 6a, 6b e 6c, respectivamente, e são as regiões de potenciais mátricos maiores que -80 kPa incluídas na região limitada pela interseção das linhas de DEe e PEe.

Para a bananeira irrigada por sistema de gotejamento com dois emissores de  $4 \text{ L h}^{-1}$  (T1), indica-se, com base nas zonas efetivas de extração de água, que os sensores sejam instalados partindo do pseudocaulo da planta, seguindo a direção da linha lateral do sistema até a distância horizontal de 0,20 m e profundidade de 0,4 m, conforme se encontra ilustrado na Figura 7a. No caso de uso de tensiômetros nesse sistema, a localização do mesmo se restringirá à distância horizontal de 0,2 m e à profundidade de solo que compreende a camada de 0,20 m a 0,40 m (Figura 8a).

O local de instalação dos sensores no sistema que utiliza quatro emissores de  $4 \text{ L h}^{-1}$  por planta (T2), pode ser visto na Figura 7b, sendo a região ideal a que compreende a distância de 0,50 m e profundidade de 0,35 m. Ao utilizar tensiômetros nesses sistemas, sugere-se que os mesmos sejam instalados até à distância de 0,5 m e na profundidade que compreende a camada de 0,25 m a 0,40 m (Figura 8b).

Para os sistemas que utilizam emissores de  $4 \text{ L h}^{-1}$  distribuídos em faixa contínua na linha lateral do sistema (T3), verificou-se que o local ideal para a instalação dos sensores compreende a distância do pseudocaulo da planta de 0,55 m e profundidade de 0,35 m (Figura 7c). Para o uso de tensiômetros nesses sistemas, esses poderão ser instalados até à distância e profundidade de 0,30 m e 0,35 m, respectivamente (Figura 8c).

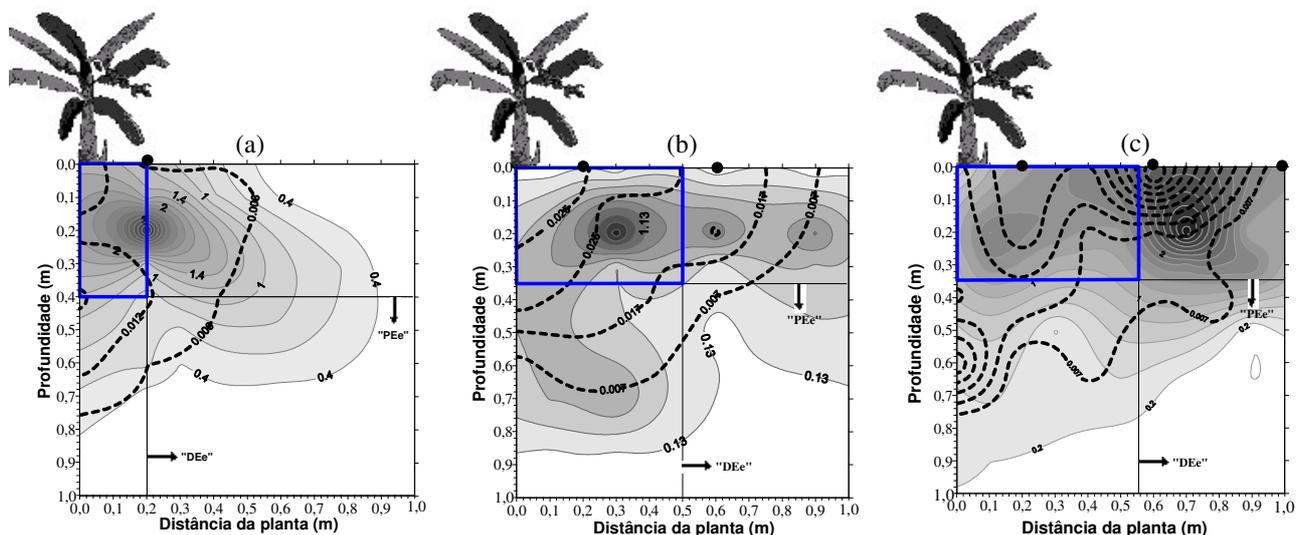


FIGURA 7. Região ideal para locação de sensores de água no solo (delimitação em azul) para os tratamentos T1 (a), T2 (b) e T3 (c). **Ideal region for location of soil water sensors (delimitation in blue) for treatments T1 (a), T2 (b) and T3 (c).**

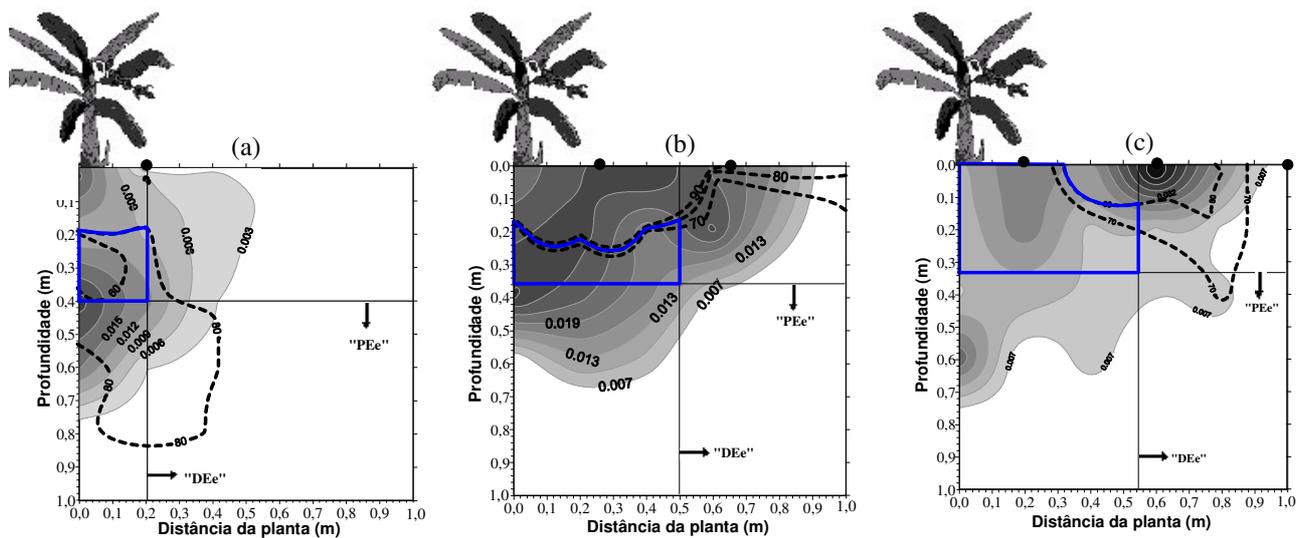


FIGURA 8. Região ideal para locação de tensiômetros no solo (delimitação em azul) para os tratamentos T1 (a), T2 (b) e T3 (c). **Ideal region for location of tensiometer in the soil (delimitation in blue) for treatments T1 (a), T2 (b) and T3 (c).**

## CONCLUSÕES

O aumento do número de emissores na linha lateral do sistema de irrigação resultou no crescimento das zonas efetivas de extração de água pela bananeira.

Os locais ideais de instalação dos sensores nos sistemas que utilizam dois, quatro e cinco emissores de  $4 \text{ L h}^{-1}$  por planta, corresponderam às regiões limitadas pelas distâncias horizontais e profundidades de 0,20 m e 0,40 m; 0,50 m e 0,35 m; 0,55 m e 0,35 m, respectivamente.

Tensiômetros devem ser instalados a partir do pseudocaule da bananeira na direção da fileira de plantas até às distâncias e às profundidades de 0,20 m e 0,20 - 0,40 m; 0,50 m e 0,25 - 0,40 m; 0,30 m e 0 - 0,35 m para os sistemas que utilizam dois, quatro e disposição em faixa contínua de emissores de  $4 \text{ L h}^{-1}$  por planta, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- ANDREU L.; HOPMANS J.W.; SCHWANK L.J. Spatial and temporal distribution of soil water balance for a drip-irrigated almond tree. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.35, n.3, p.123-146, 1997.
- ARRUDA, F.B. Necessidade de água nas culturas - Elementos de projeto. In: CURSO PRÁTICO INTERNACIONAL DE AGROMETEOROLOGIA PARA OTIMIZAÇÃO DA IRRIGAÇÃO, 3., 1989, Campinas: IAC, 1989. 35 p.
- BOHM, W. *Methods of studying root systems*. New York: Springer Verlag, 1979. 190 p.
- BORGES, A.L.; OLIVEIRA, A.M.G. Nutrição, calagem e adubação. In: MACIEL, Z.C. *Banana: produção, aspectos técnicos*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p.47-59.
- CARVALHO, J.E.B.; SOUZA, L.S.; JORGE, L.A.C.; RAMOS, W.; COSTA NETO, A.O.; ARAÚJO, A.M.A.; LOPES, L.; JESUS, M. Manejo de coberturas do solo e sua interferência no desenvolvimento do sistema radicular da laranja 'Pera'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.21, n.2, p.140-145, 1999.
- CLAUSNITZER, V.; HOPMANS, J.W. Simultaneous modeling of transient three-dimensional root growth and soil water flow. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.164, n.2, p.299-314, 1994.

- CLOTHIER, B.E.; GREEN, S.R. Root zone processes and the efficient use of irrigation water. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.25, n.1, p.1-12, 1994.
- CLOTHIER, B.E.; SMETTEM, K.R.J.; RAHARDJO, P. Sprinkler irrigation, roots and the uptake of water. In: WORKSHOP ON FIELD-SCALE WATER AND SOLUTE FLUX IN SOILS, 1990, Basel: Birkhauser Verlag, 1990. p.101-108.
- COELHO, E.F.; OR, D. Applicability of analytical solutions for flow from point sources to drip irrigation management. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, v.61, n.5, p.1.331-1.341, 1997.
- COELHO, E.F.; OR, D. Modelo de distribuição de água e de potencial matricial no solo sob gotejamento com extração de água por raízes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.34, n.2, p.225-234, 1999.
- COELHO, E.F.; SANTOS, D.B.; AZEVEDO, C.A.V. Sensor placement for soil water monitoring in lemon irrigated by micro sprinkler. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.11, n.1, p.46-52, 2007.
- COELHO, E.F.; SANTOS, M.R.; COELHO FILHO, M.A. Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de irrigação localizada em Latossolo de Tabuleiros Costeiros. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.27, n.1, p.175-178, 2005.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. *Efeitos da água no rendimento das culturas*. Campina Grande: UFPB, 1994. 212 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GOLDBERG, S.D.; RINOT, M.; KARU, N. Effect of trickle irrigation intervals on distribution and utilization of soil moisture in a vineyard. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, v.35, n.1, p.127-130, 1971.
- HENDRICKX, J.M.H.; WIERENGA, P.L. Variability of soil water tension in a trickle irrigated field. *Irrigation Science*, Berlin, v.11, n.1, p. 23-30, 1990.
- HENSLEY, D.; DEPUTY, J. Using tensiometers for measuring soil water and scheduling irrigation. Hawaii: College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa, 1999. p.644-667.
- HILLEL, D. *Environmental Soil Physics*. New York: Academic Press, 1998. 770 p.
- HUTMACHER, R.B.; NIGHTINGALE, H.I.; ROLSTON, D.E.; BIGGAR, J.W.; DALE, F.; VAIL, S.S.; PETER, D. Growth and yield responses of almond (*Prunus amygdalus*) to trickle irrigation. *Irrigation Science*, Berlin, v.14, n.3, p.117-126, 1994.
- KASPAR, T.C.; EWING, R.P. Rootedge: Software for measuring root length from desktop scanner images. *Agronomy Journal, Madison*, v.89, n.6, p.932-940, 1997.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. *Sprinkle and trickle irrigation*. New York: Chapman & Hall, 1990. 321 p.
- MICHELAKIS, N. ; VOUGIOUCALOU, E.; CLAPAKI, G. Water use, wetted soil volume, root distribution and yield of avocado under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.24, n.2, p.119-131, 1993.
- MMOLAWA, K.; OR, D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. *Plant and Soil*, The Hague, v.222, n.2, p.163-190, 2000.

- OLIVEIRA, F.C.H.; VIEIRA, D.B.; SOUZA, I.F.; OLIVEIRA, L.F.C.; SOUSA, I.S. Estudo do sistema radicular da tangerineira 'Cleopatra' com copa de laranja 'Pera'. *Laranja*, Cordeirópolis, v.19, n.1, p.117-131, 1998.
- SANTOS, D.B. *Extração de água pelo limão 'Tahiti' com porta enxerto Citrumelo 'Swingle' sob microaspersão nas condições semiáridas da Bahia*. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2002.
- SANTOS, D.B.; COELHO, E.F.; AZEVEDO, C.A.V. Absorção de água pelas raízes do limoeiro sob distintas frequências de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, n.3, p.327-333, 2005.
- SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Irrigação do feijoeiro. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. 230 p.
- STEGMAN, E.C. Irrigation water management. In: JENSEN, M.E. (Ed.). *Design and operation of farm irrigation systems*. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1982. p.763-816.
- STEVENS, R.M.; DOUGLAS, T. Distribution of grapevine roots and salt under drip and full-ground cover microjet irrigation systems. *Irrigation Science*, Berlin, v.15, n.4, p.147-152, 1994.
- VIEIRA, D.B.; GENOVEZ, A.M.; GOMES, E.M. Determinação da profundidade efetiva do sistema radicular do milho (*Zea mays* L.) irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 1996, Campinas. *Anais...* Campinas: IAC, 1996. p.95-106.
- ZHANG, M.; ALVA, A.K.; Li, Y.C.; CALVERT, D.V. Root distribution of grapefruit trees under dry granular broadcast vs. fertirrigation method. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.183, n.1, p.79-84, 1996.