**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Variáveis de eficiência, manejo de irrigação e de produção da
bananeira cultivar BRS Tropical sob diferentes sistemas de
microaspersão e gotejamento**

Alisson Jadavi Pereira da Silva

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Irrigação e
Drenagem

**Piracicaba
2009**

Alisson Jadavi Pereira da Silva
Engenheiro Agrônomo

**Variáveis de eficiência, manejo de irrigação e de produção da bananeira cultivar
BRS Tropical sob diferentes sistemas de microaspersão e gotejamento**

Orientador:
Prof. Dr. **JARBAS HONORIO DE MIRANDA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Irrigação e
Drenagem

**Piracicaba
2009**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Silva, Alisson Jadavi Pereira da

Variáveis de eficiência, manejo de irrigação e de produção da bananeira cultivar BRS Tropical sob diferentes sistemas de microaspersão e gotejamento / Alisson Jadavi Pereira da Silva. - - Piracicaba, 2009.
71 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.
Bibliografia.

1. Água do solo 2. Banana - Produtividade 3. Irrigação por gotejamento 4. Irrigação por microaspersão 5. Sistema radicular I. Título

CDD 634.772
S586v

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

*Aos meu pais: Alcides (in memoriam) e
Marilene,*
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me concedido todas as condições necessárias à realização deste trabalho.

À minha mãe Marilene, por dedicar a sua vida em prol do melhor para mim, e ao meu pai Alcides (*in memoriam*) por transmitir a mim tanta força e ensinamentos nos anos em que entre nós esteve.

Às minhas irmãs Alciene e Alcione, à Regina, pelo incentivo e por me ajudarem nas horas de maiores dificuldades.

À minha companheira Daiane, por fazer dos meus dias mais felizes e está sempre transmitindo apoio e carinho.

Ao meu orientador Dr. Jarbas Honorio de Miranda, pela amizade, ensinamentos e principalmente pela confiança depositada a mim.

Ao Dr. Eugênio Ferreira Coelho pela co-orientação, amizade, ensinamentos transmitidos nesses últimos 6 anos e por servir de exemplo de honestidade e competência profissional.

Ao meu amigo Lucas, por tornar a etapa de minha vida em Piracicaba mais fácil, fazendo parte de todas as minhas proezas deste período.

Aos companheiros de pós graduação da ESALQ, especialmente aos amigos Jaedson, Alex e João, por me receberem em casa desde o início como se eu já fosse um velho amigo.

Aos meus amigos Roque e Marcelo por compartilharem as pedaladas à EMBRAPA, os muitos trabalhos de campo, e claro as nossas “geladas” nos finais de semana.

Ao Dr. Maurício Coelho pela amizade e incentivo.

Aos professores da UFRB Vital e Chico Adriano pelos incentivos passados.

Aos professores Sérgio, Rubens, Folegatti, Tarlei, Frizzone, Iran e Décio, pela transmissão de conhecimento e por servirem de inspiração profissional para mim.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, por meio do Departamento de Engenharia Rural, pela oportunidade concedida à realização do curso.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
1 INTRODUÇÃO	17
2 DESENVOLVIMENTO	19
2.1 Considerações iniciais.....	19
2.1.1 Tecnologias para a cultura da bananeira	19
2.1.2 Distribuição do sistema radicular da bananeira.....	20
2.1.3 Utilização da TDR no estudo da extração de água no solo pelas plantas.....	21
2.1.4 Eficiência de aplicação de água de sistemas de irrigação	22
2.1.5 Posicionamento de sensores para monitoramento da água no solo	24
2.2 Material e métodos.....	25
2.2.1 Caracterização do experimento.....	25
2.2.2 Sistemas de irrigação avaliados.....	26
2.2.3 Construção, calibração e instalação das sondas de TDR	27
2.2.4 Medida dos parâmetros de crescimento e produção da bananeira.....	30
2.2.5 Determinação da distribuição de raízes	30
2.2.6 Determinação da Eficiência de Aplicação de Água	32
2.2.7 Determinação do posicionamento de sensores de água no solo	35
2.3 Resultados e Discussão	37
2.3.1 Produtividade da bananeira.....	37
2.3.1.1 Produtividade da bananeira irrigada por sistemas de microaspersão.....	37
2.3.1.2 Produtividade da bananeira irrigada por gotejamento	38
2.3.2 Distribuição das raízes no solo.....	40
2.3.2.1 Distribuição das raízes das plantas irrigadas por microaspersão.....	40
2.3.2.2 Distribuição das raízes das plantas irrigadas por gotejamento	43
2.3.3 Eficiência de Aplicação de Água	47
2.3.3.1 Eficiência de aplicação de água em sistemas de microaspersão.....	47
2.3.3.2 Eficiência de aplicação de água em sistemas de gotejamento	51
2.3.4 Posicionamento de sensores no solo.....	56

2.3.4.1 Posicionamento de sensores no solo para o manejo da irrigação por microaspersão	56
2.3.4.2 Posicionamento de sensores no solo para o manejo da irrigação por gotejamento	59
3 CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS	65

RESUMO

Variáveis de eficiência, manejo de irrigação e de produção da bananeira cultivar BRS Tropical sob diferentes sistemas de microaspersão e gotejamento

A agricultura irrigada, por se tratar do setor produtivo que mais demanda água, tem sofrido continuas pressões para garantir a produção de alimentos com uso eficiente da água. Diante disto, objetivou-se com este trabalho estudar: (i) o efeito de diferentes sistemas de irrigação localizada (microaspersão e gotejamento) sob diferentes configurações na produtividade da bananeira BRS Tropical; (ii) avaliar a distribuição de raízes das plantas irrigadas por esses sistemas; (iii) calcular a eficiência de aplicação de água desses sistemas na cultura da bananeira e (iv) definir o posicionamento de sensores de água no solo para monitoramento da irrigação sob os sistemas considerados. O experimento foi conduzido nos campos experimentais da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, no qual foram estudados diferentes sistemas de irrigação localizada na cultura da bananeira BRS Tropical. Verificou-se que não houve efeito das diferentes configurações dos sistemas de irrigação por microaspersão nas variáveis de produção da bananeira BRS Tropical, o mesmo ocorrendo com as plantas irrigadas por diferentes configurações de sistemas de gotejamento. Entretanto, a produtividade da bananeira foi maior quando irrigada por sistemas de microaspersão do que por sistemas de gotejamento. A profundidade efetiva das raízes da bananeira irrigada por microaspersão e gotejamento foram 0,5 e 0,3 m, respectivamente, com exceção dos sistemas com gotejadores distribuídos em faixa contínua e com quatro gotejadores por plantas, para os quais se registrou uma profundidade efetiva de 0,25m e 0,6m, respectivamente. Quanto à eficiência de aplicação de água, nos sistemas de microaspersão, para um mesmo volume de água aplicado, na medida em que a uniformidade de distribuição de água dos sistemas aumenta, diminui-se a percolação, aumenta-se a extração de água e a eficiência de aplicação de água torna-se mais elevada. Nos sistemas de gotejamento, o incremento no número de emissores na linha lateral promoveu o crescimento da área de distribuição de raízes no solo em relação a lateral da planta, aumentou as áreas de extração de água, reduziu as perdas por percolação e aumentou a eficiência de aplicação. Na definição do posicionamento de sensores no solo, para a microaspersão, verificou-se que os sensores podem ser localizados na região que compreende a distância do pseudocaule ao emissor de 0,1 m à 0,7 m, 0,1 m à 0,8 m e 0,4 m à 1 m, nos sistemas com um microaspersor de 32 L h⁻¹ para quatro plantas, um microaspersor de 60L h⁻¹ para quatro plantas e um microaspersor de 60L h⁻¹ para duas plantas, respectivamente, sendo a profundidade de instalação limitada em 0,25 m. Nos sistemas de gotejamento, definiu-se que os locais ideais de instalação dos sensores nos sistemas que utilizam dois, quatro e cinco emissores de 4 L h⁻¹ por planta, partindo-se do pseudocaule da bananeira na direção da fileira de planta, às regiões limitadas pelas distâncias horizontais 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: Gotejamento; Microaspersão; Bananeira; Sistemas de irrigação

ABSTRACT

Variables efficiency, irrigation management and yield of banana cv BRS Tropical under different systems of microsprinkling and drip

Irrigated agriculture is the part of the productive section that demands more water, as a consequence, it has been under continuous pressure in order to guarantee food production with efficient water use. This work had as objective, studies about: (i) effects of different trickle irrigation systems (sprayer and drip) configurations on yields of banana cv BRS Tropical; (ii) evaluation of root distribution of plants which were under these systems; (iii) application efficiency of these systems on banana crop and (iv) soil water sensor placement definition for irrigation scheduling of the evaluated systems. The experiment was carried out on the experimental fields of Embrapa Cassava & Tropical Fruits, where studies about different trickle irrigation systems on banana crop were accomplished. There was no effect of the different sprayer or drip irrigation systems configurations on the production variables of banana cv BRS Tropical, however yields of banana irrigated by sprayer were larger than those of banana irrigated by drip. The effective root depth of banana irrigated by sprayer and drip systems were 0.5 and 0.3 m, respectively, except for drip systems with drippers distributed as line source and systems with four drippers per plant. In those cases the effective root depths were 0.25 m and 0.6m, respectively. Concerning water application efficiency and the same volume of water applied for all sprayer systems, the larger the water distribution uniformity, the larger the root water extraction and the water application efficiency and the smaller the deep percolation. The increase of emitters on the lateral lines provided growth of root distribution area and root water extraction area around the plant, reduced deep percolation losses and increased water application efficiency. Concerning definition of sensor placement around plants for sprayer system, it was noticed that sensors may be placed in zones limited by distances between plant and emitter of 0.1 m to 0.7 m, 0.1 m to 0.8 m and 0.4 m to 1 m for systems of one 32 L h⁻¹ sprayer for four plants, one 60 L h⁻¹ sprayer for four plants and one 60 L h⁻¹ sprayer for two plants, respectively. In all cases, the depth for sensor installation was 0.25 m. In case of drip irrigation systems, the ideal zones for sensor placement for systems that use two, four and five 4 L h⁻¹ emitters per plant were limited by horizontal 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: Drip; Sprayer; Banana; Irrigation systems

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista da área experimental (EMBRAPA, CNPMF, Cruz das Almas - BA)	25
Figura 2 - Esquema da disposição das sondas de TDR no campo	29
Figura 3 - Momento da instalação das sondas de TDR no campo (A) e TDR montada em campo (B)	30
Figura 4 - Retirada de amostras de raízes no campo.	31
Figura 5 - Identificação dos tempos (k), (k+1) e (k+2) utilizados para determinação da “LTI” e “LTE” na zona do sistema radicular da bananeira.	32
Figura 6 - Identificação dos tempos (K+1) e (K+2).	36
Figura 7 - Percentagens de comprimento total de raízes acumuladas no perfil do solo para o Tratamento 1 (a), Tratamento 2 (b), Tratamento 3 (c), Tratamento 4 (d) e Tratamento 5 (c).	41
Figura 8 - Isolinhas de densidade de comprimento de raízes no perfil do solo para os sistemas de microaspersão estudados. Tratamento 1 (a), Tratamento 2 (b), Tratamento 3 (c), Tratamento 4 (d) e Tratamento 5 (e).	42
Figura 9 - Percentagens de comprimento total de raízes acumuladas no perfil do solo para o Tratamento 6 (a), Tratamento 7 (b), Tratamento 8 (c), Tratamento 9 (d) e Tratamento 10 (e)	45
Figura 10 - Isolinhas de densidade de comprimento de raízes no perfil do solo para os sistemas de gotejamento estudados. Tratamento 6 (a), Tratamento 7 (b), Tratamento 8 (c), Tratamento 9 (d) e Tratamento 10 (e)	46
Figura 11 - Precipitação em relação à distância da planta em direção ao microaspersor referentes aos tratamentos T1 (A), T3 (B), T5 (C).	47
Figura 12 - Teores de água disponível em percentagem partindo da planta em direção ao emissor nos tratamentos T1 (A), T3 (B) e T5 (C).	48
Figura 13 - Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada na irrigação da bananeira pelo sistema que utiliza um microaspersor de 32 L h ⁻¹ para quatro plantas (T1).	49
Figura 14 - Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada na irrigação da bananeira pelo sistema que utiliza um microaspersor de 60 L h ⁻¹ para quatro plantas (T3).	50
Figura 15 - Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada na irrigação da bananeira pelo sistema que utiliza um microaspersor de 60 L h ⁻¹ para duas plantas (T5).	51

Figura 16 - Comprimento total de raízes e extração de água em diferentes distâncias horizontais da planta, no tratamento T6.	52
Figura 17 - Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada em diferentes distâncias horizontais da planta (R) no tratamento T6.	53
Figura 18 - Comprimento total de raízes e extração de água em diferentes distâncias horizontais da planta (R), no tratamento T7.	54
Figura 19 - Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada em diferentes distâncias horizontais da planta (R) no tratamento T7.	54
Figura 20 - Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada em diferentes distâncias horizontais da planta (R) no sistema T9.	55
Figura 21 - Comprimento total de raízes e extração de água em diferentes distâncias horizontais da planta (R), no tratamento T9.	56
Figura 22 - Distribuição da percentagem de água disponível no solo e zonas de extração de água no solo T1 (a), T3 (b), T5 (c). Linhas Tracejadas equivalem a extração de água no solo.	57
Figura 23 - Percentagens de extração de água acumulada em distâncias e profundidades. T1 (a), T3 (b), T5 (c).	57
Figura 24 - Região ideal para locação de sensores de água no solo (delimitação em azul) para os tratamentos T1 (a), T3 (b) e T5 (c).	58
Figura 25 - Região ideal para locação de tensiômetros no solo (delimitação em azul) para os tratamentos T1 (a), T3 (b) e T5 (c).	59
Figura 26 - Teores de água disponível no perfil do solo no tempo (J+1), nos tratamentos T6(a), T7(b) e T9(c).	60
Figura 27 - Teores de água disponível no perfil do solo no tempo (J+2) e regiões de extração de água (linhas tracejadas em azul) nos tratamentos T6(a), T7(b) e T9(c).	60
Figura 28 - Região ideal para locação de sensores de água no solo (delimitação em azul) para os tratamentos T6 (a), T7 (b) e T9 (c).	62
Figura 29 - Região ideal para locação de tensiômetros no solo (delimitação em azul) para os tratamentos T6 (a), T7 (b) e T9 (c).	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características Físico-hídricas do solo da área experimental	26
Tabela 2 - Médias dos parâmetros de produção da bananeira Maçã Tropical sob cinco configurações de sistemas de irrigação por microaspersão.....	38
Tabela 3 - Médias dos parâmetros de produção da bananeira Maçã Tropical sob cinco configurações de sistemas de irrigação por gotejamento	39
Tabela 4 - Comparação de médias pelo teste t para as variáveis de produção nos dois sistemas de irrigação (gotejamento e micropaspersão)	39
Tabela 5 - Valores médios de percolação em diferentes tempos após a irrigação (A.I) em sistemas de irrigação por microaspersão	48
Tabela 6 - Valores médios de percolação em diferentes tempos após a irrigação (A.I) em sistemas de irrigação por gotejamento.....	52

1 INTRODUÇÃO

Em 1950, existia cerca de 2,5 bilhões de pessoas no mundo, em 1980 este número foi para 4,4 bilhões de pessoas e em 2000 ultrapassou os 6 bilhões. Estima-se que a população mundial crescerá para 8 bilhões de pessoas em 2025 e para 9,3 bilhões em 2050, segundo dados da United Nations Department of Economic and Social Affairs (2002). Este aumento da população, combinado com padrões mais elevados de vida, especialmente nos países em desenvolvimento, representa uma enorme demanda por terra, água, energia e outros recursos naturais.

No que diz respeito ao recurso água, sua disponibilidade e qualidade são fontes de crescente preocupação para a comunidade científica. Estima-se que o mundo contém cerca de 1,4 bilhões de Km^3 de água (SHIKLOMANOV, 2000). Christopherson (2002) declara que esta quantidade tem-se mantido relativamente constante desde cerca de 2 bilhões de anos atrás. Desse total de água, apenas 2,5% é água doce (United Nations Environment Programme, 2002). No entanto, cerca de dois terços dessa água doce encontra-se na forma de gelo ou neve. Assim, a água doce (incluindo vapor atmosférico) totaliza apenas 0,77% do total dos recursos hídricos do mundo (UNEP, 2002). Destes, a maior parte ocorre em águas subterrâneas, enquanto menos de 1% ocorre em lagos, pântanos, zonas úmidas e rios (UNEP, 2002).

A permanência desta quantidade de água combinada com o aumento da população humana acrescido dos intermináveis desmatamentos e do uso ineficiente da água nos setores produtivos vem gerando grandes conflitos por água em várias partes do mundo. Este fato é um dos mais críticos problemas a serem enfrentados no início do século 21. A agricultura, por se tratar do setor produtivo que mais demanda água, tem sofrido pressões intensas para garantir a produção de alimentos com melhoria na eficiência do uso da água.

Durante os últimos 30 anos, a área de terra sob irrigação passou de 200 milhões para mais de 270 milhões de hectares (FAO, 2007). A comunidade agrícola vê este crescimento contínuo da irrigação como um imperativo para atingir os objetivos traçados pela comunidade internacional, para reduzir a fome e a pobreza. Neste sentido, estima-se que 29% a mais de áreas irrigadas serão necessários até ao ano 2025 (International Water Management Institute, 2000). Assim, muitas das soluções

relacionadas com o problema da água, segurança alimentar e ambiental vêm de dentro da agricultura. A percepção geral é que a solução para a crise da água é a esperança de que será possível aumentar a produção de alimentos com os recursos hídricos existentes.

Para aumentar a eficiência, a produtividade da água e alcançar a segurança alimentar é necessário uma mudança fundamental no atual desperdício dos padrões de produção da agricultura irrigada. Dos sistemas de irrigação existentes, geralmente a irrigação localizada é apresentada na literatura como a de maior potencial para o uso eficiente da água. Entretanto, isto nem sempre é alcançado devido à inadequada configuração e falta de manejo dos sistemas no campo.

A indicação da correta configuração visando o uso racional da água e as informações relativas ao manejo da água via solo em sistemas de irrigação dependem do conhecimento de fatores importantes como a distribuição de raízes, extração de água no solo e perdas por percolação. Devido a dificuldade inerente na obtenção destes fatores em campo, poucos ainda são os estudos que os envolvem.

Visando contribuir com o desenvolvimento sustentável da irrigação localizada no Brasil, realizou-se a presente pesquisa, considerando-se a irrigação da bananeira BRS Tropical por diferentes sistemas de irrigação por microaspersão e gotejamento, com o objetivo de avaliar: (i) o efeito de diferentes sistemas de irrigação localizada (microaspersão e gotejamento) sob diferentes configurações na produtividade da bananeira BRS Tropical; (ii) avaliar a distribuição de raízes das plantas irrigadas por esses sistemas; (iii) calcular a eficiência de aplicação de água desses sistemas na cultura da bananeira e (iv) definir o posicionamento de sensores de água no solo para monitoramento da irrigação sob os sistemas considerados.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Considerações iniciais

2.1.1 Cultura da bananeira

A banana é a segunda fruta em produção, perdendo apenas para a laranja, sendo a fruta mais consumida no Brasil, e na forma in natura, atinge o equivalente a 30 quilos por habitante ano (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2008).

A produção brasileira de banana está distribuída nas 27 unidades da Federação, incluindo o Distrito Federal. O estado de São Paulo, na atualidade é o maior produtor de banana, com uma produção anual estimada em 1,2 milhões de toneladas. Os estados da Bahia e Santa Catarina são o segundo e terceiro maiores produtores. Do total produzido, 95% da safra ficam no país (FIORAVANÇO, 2007). O restante é exportado, principalmente para Reino Unido, Argentina, Uruguai, Itália, Holanda e Alemanha, nessa ordem (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2008).

Apesar de ser um dos maiores produtores mundiais, o Brasil apresenta baixa produtividade média ($14,1 \text{ Mg ha}^{-1}$), enquanto que países como a Guatemala e Costa Rica apresentam rendimentos de $55,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $55,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ (FAO, 2007). Este baixo rendimento, constatado nas regiões produtoras de banana torna evidente a demanda de tecnologia para esta fruta, o que pode ser atestado pelas associações cooperativas dos pólos produtores que vêm tentando junto à Embrapa apoio de extensão rural no sentido de capacitação dos produtores. Há necessidade, portanto, de suporte tecnológico contínuo. Uma das demandas de tecnologias, mais relevantes, diz respeito à irrigação, pois a cultura da bananeira é muito sensível ao déficit hídrico, sendo necessário adequar a distribuição de umidade no solo do pomar durante todo ciclo para que a planta transpire e produza potencialmente (POSSÍDIO, 1984).

As pesquisas relativas ao uso de água pela bananeira, nos diferentes ecossistemas do Brasil, apesar de não atenderem completamente as demandas existentes tem gerado alguns resultados (OLIVEIRA, 1997; TEIXEIRA et al., 2002; COELHO et al., 2003). Entretanto, apesar de ser uma demanda contínua do produtor, a relação entre a cultura da bananeira e os sistemas de irrigação utilizados para sua produção, não tem sido abordada. O sistema de irrigação está em interação com o

manejo da irrigação e interfere diretamente nos cálculos do volume de água a ser aplicado à cultura, influenciando diretamente na área molhada e na distribuição de água no solo tendo efeito direto, em última análise, nos parâmetros de produção da cultura.

2.1.2 Distribuição do sistema radicular da bananeira

O conhecimento da distribuição do sistema radicular da bananeira no que diz respeito ao uso racional e manejo de irrigação é de fundamental importância, uma vez que este se constitui não só como meio de fixação da planta no solo, mas como a principal via de absorção de água e nutrientes.

Há muito tempo se sabe da importância em se conhecer a distribuição do sistema radicular das culturas, entretanto, somente nos últimos anos vem se realizando trabalhos com tal finalidade. Talvez devido à dificuldade inerente à obtenção das amostras. Assim, muitos trabalhos que necessitam de tal informação, vêm utilizando os dados de peso de matéria seca de raízes, que é de mais fácil obtenção. Entretanto, as raízes seminais, pivotantes e de sustentação são mais grossas e mais pesadas, mas não são ativas no processo de absorção. Dessa forma, a densidade de comprimento de raiz tem sido o parâmetro mais confiável para representação da atividade do sistema radicular (SIMÕES, 2007).

A distribuição das raízes das culturas é função das características genéticas das plantas; das propriedades físicas, em especial da textura e estrutura e teor de água do solo, que atua na sua resistência à penetração pelas raízes (BARBER, 1992). A influência destes fatores sobre a distribuição das raízes da bananeira, pode ser evidenciada pelos resultados já encontrados na literatura de trabalhos realizados em diferentes condições edafoclimáticas, como o de Avilan et al. (1982), que avaliando a distribuição do sistema radicular da bananeira sob diferentes sistemas de preparo e manejo do solo, verificaram que 90% das raízes se concentraram até 0,30 m de distância do pseudocaule, em solo franco-argiloso a franco-siltoso, já em solos mais argilosos, as raízes concentraram-se a 0,80 m de profundidade e aproximadamente 50% a 0,60 m de distância do pseudocaule.

Calheiros (1992) avaliou a distribuição do sistema radicular da bananeira em condições de sequeiro e irrigação. No tratamento sem irrigação, o sistema radicular

alcançou 0,6m de profundidade, apresentando 24 a 56% das raízes nas camadas superficiais. Já no tratamento com irrigação, foi verificada uma maior concentração das raízes (70%) nas camadas superficiais, que não ultrapassaram os 0,5m.

Garcia (2000) estudando o sistema radicular da bananeira irrigada por aspersão e microaspersão no Projeto Jaíba, MG, verificaram que 98% da massa seca de raízes em áreas sob aspersão concentraram-se até a profundidade de 0,4m, já em irrigação por microaspersão, 93% da massa seca total das raízes concentram-se até os 0,6m.

Ramos (2001) avaliou a distribuição do sistema radicular da bananeira irrigada por microaspersão, em Petrolina-PE, e verificou que 88% das raízes da bananeira irrigada por microaspersão se concentraram até a profundidade de 0,60 m.

Borges et al. (2008) estudando a distribuição das raízes da bananeira “Prata-Anã” sob distintas freqüências de fertirrigação encontraram a profundidade efetiva das raízes dessa planta em 0,50 e 0,60 m, para as freqüências de 3 e 15 dias, respectivamente.

2.1.3 Utilização da TDR no estudo da extração de água no solo pelas plantas

Estudos que envolvem a extração de água no solo pelas plantas tem sido um desafio à ciência nas ultimas décadas (GREEN et al. 2006). Gardner (1960) foi o primeiro a fornecer uma solução analítica para descrever o movimento da água para as raízes das plantas, apesar de Philip (1957) já haver desenhado a solução anteriormente. Desde então, muitos modelos surgiram, o que ajudou no entendimento do movimento da água para as raízes das plantas (MOLZ; REMSON, 1970; FEDDES et al., 1976; VAN GENUCHTEN, 1987). Entretanto, Yet Monteith (1981) e Breteler et al. (1981) chamavam atenção das limitações dos modelos até então existentes, e da necessidade de aprimoramento de novas técnicas que possibilitassem maior detalhamento do processo de extração de água no solo pelas plantas. O desenvolvimento e aplicação de novas técnicas de medida da extração de água no solo pelas plantas ocorreram após a aplicação da Reflectometria no Domínio do Tempo na determinação do conteúdo de água no solo (TOPP et al., 1980). Muitos autores vêm utilizando esta técnica em estudos que envolvem estes processos, como Clothier e Green (1994) que avaliaram a distribuição e extração da água no solo em Kiwi irrigado

por microaspersão, e verificaram que as zonas de extração são influenciadas pela distribuição superficial de água dos microaspersores.

Coelho e Or (1998) fizeram uso da técnica da TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) para o estudo da extração de água de plantas de milho irrigadas por gotejamento superficial e subterrâneo. Os autores verificaram que a densidade de comprimento de raízes pode não ser um real indicativo das zonas de extração de água, e que a absorção de água pelas plantas varia no espaço em resposta as condições de água no solo.

Coelho et al. (2003) verificaram que 86% da extração de água da bananeira 'Prata – Anã' ocorrem até a profundidade de 0,4m.

Santos (2005) utilizou a TDR para caracterizar a absorção de água pelas raízes do limoeiro "Taiti", no perfil de solo sob diferentes intervalos de irrigação por microaspersão, verificando que a atividade do sistema radicular do limoeiro diminui na medida em que se afasta do microaspersor.

Simões (2007) observou que plantas irrigadas por um sistema de microaspersão com um emissor de 70 L h^{-1} para duas plantas, apresentam taxa de extração maior que as plantas submetidas ao sistema com um microaspersor de 35 L h^{-1} para uma planta.

2.1.4 Eficiência de aplicação de água de sistemas de irrigação

Tem-se atualmente a necessidade de se priorizar o estudo de uma série de etapas isoladas que envolvem a eficiência total do uso da água na agricultura (HSIAO et al., 2007). Destaca-se nestas etapas, a eficiência de aplicação de água (E_a), que pode ser definida como sendo a razão entre a quantidade de água retida na zona radicular da planta e a quantidade de água aplicada na irrigação (ROGERS et al., 1997; SMITH et al., 2004). Para Hsiao et al. (2007) o desafio de elevar a baixa eficiência é grande, dada a grande diversidade de causas inseridas no sistema de uso de água.

A " E_a " é fortemente influenciada pela uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação, mas, verifica-se que mesmo se atingindo altas uniformidades de distribuição de água, a " E_a " pode ser baixa, devido ao inadequado manejo dos sistemas em campo (HSIAO, 2007).

Na irrigação por superfície, particularmente na irrigação por sulco, o mínimo aceitável da eficiência de aplicação é de 60% (BERNARDO, 1995). Entretanto, este método de irrigação quando praticado de forma adequada, pode alcançar “Ea” maiores que 80% (HOWELL, 2003), exemplo disto, são os resultados alcançados por Horst et al. (2007) , que fizeram uso da técnica “surge-flow” na irrigação por sulco e observaram valores de eficiência de aplicação de água próximos a 85%.

Na irrigação por aspersão, fatores como perda de água por evaporação e por arrastamento do vento exercem forte influência sob a uniformidade de aplicação de água (PLAYÁN et al., 2005), o que faz com que a depender das condições a que estejam submetida o projeto a “Ea” varie de 70 a 90% (MANTOVANI; RAMOS 1994). Porém, quando um projeto de irrigação por aspersão se encontra devidamente dimensionado e manejado, pode-se verificar alta uniformidade de distribuição de água, com eficiência de aplicação chegando a valores próximos a 90% (HOWELL, 2003).

Os métodos localizados são normalmente apresentados na literatura como os que apresentam maior potencial de uso eficiente da água, contudo, a “Ea” destes métodos pode variar em função de uma variedade de causas, em particular, a configuração destes sistemas no campo, o que faz a Ea destes sistemas variarem de 70 a 95% (HOWELL, 2003).

Segundo Howel (2008) a “Ea” tem sido pouco estudada devido à dificuldade em se determinar alguns parâmetros necessários ao seu estudo, principalmente o fluxo de água abaixo da zona radicular da cultura, que para Koumanov (1997) exige o monitoramento detalhado da água na região do sistema radicular da cultura. Esta dificuldade é ainda maior quando se trata de sistemas localizados, dado a dificuldade de se inferir sobre as zonas de absorção de água, que diferem do caráter unidimensional de outros métodos de irrigação. Lima et al. (2006) estudou a extração de água da lima ácida “tahiti” submetida a diferentes configurações de irrigação localizada, verificando que para cada configuração de sistema de irrigação, há posições de extração de água características, que geralmente coincidem com as regiões de maiores umidades dentro do volume molhado.

Quanto aos valores de “Ea”, poucos estudos são encontrados na literatura, como o de Zocoler et al. (2001) que avaliou a eficiência de aplicação de água da irrigação de

um equipamento tipo pivô central na cultura do feijão, e verificaram que o valor da Ea foi de 80,86%.

Koumanov et al. (1997) observaram a eficiência de aplicação de água de diferentes sistemas de irrigação por microaspersão em amendoeiras e os valores da Ea variaram de 73 a 79%.

2.1.5 Posicionamento de sensores para monitoramento da água no solo

Mesmo diante de inúmeras informações disponíveis na literatura, a grande maioria dos irrigantes ainda não tem seu sistema configurado de modo mais adequado, nem tão pouco determinam de forma correta a quantidade de água a repor no solo, nem o momento correto. Uma das alternativas para contornar esta carência, é a utilização de sensores capazes de fornecer valores de conteúdo da água no solo. Para definir o quando ou quanto irrigar, a maior dificuldade encontrada por usuários destes sensores, consiste em definir o número de sensores a ser instalado na área, bem como o local de instalação dos mesmos. A definição do número de sensores a serem instalados na área é fortemente dependente da variabilidade espacial do solo (COELHO FILHO, 1998; HENDRICKS; WIERENGA, 1990, DOOREMBOS; KASSAM, 1994). A respeito da correta localização, as recomendações encontradas na literatura são para um número limitado de culturas e tem como base o conhecimento da sua distribuição radicular, que sob irrigação localizada, apresentam geralmente seu desenvolvimento condicionado no volume de solo molhado pelos emissores próximo a superfície, com a densidade de comprimento decrescendo com a profundidade (GOLDBERG et al., 1971; STEVENS; DOUGLAS, 1994). Entretanto, estudos têm mostrado que a extração de água pelas raízes nem sempre ocorre em direção proporcional à densidade do comprimento de raízes (CLOTHIER et al., 1990, COELHO; OR, 1997). Neste 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, as quais 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). Para Cruz et al. (2005) trabalhos nesta linha são escassos e se deve a dificuldade em se estudar o fluxo de água na zona radicular da cultura. A aplicação da Reflectometria no Domínio do

Tempo (TDR) nos estudos que visam a 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 esta técnica permitir a avaliação de processos de distribuição temporal e espacial da extração de água no solo pelas culturas. Para as frutíferas tropicais estas 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 desta cultura.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Caracterização do experimento

O presente trabalho foi conduzido no campo experimental da EMBRAPA Mandioca e Fruticultura Tropical, (12° 39' 35.55"S 39° 06' 51.49"W), em Cruz das Almas - BA, latitude 12°48'S; longitude 39°06'W e altitude de 225 m, numa condição de clima úmido a subúmido, com pluviosidade média anual de 1.143 mm (Almeida, 2004). Dois experimentos foram conduzidos (experimentos 1 e 2) com a bananeira cultivar BRS Tropical, resistente a Sigatoka Negra, tolerante ao Mal do Panamá e de elevado valor comercial. A cultivar foi plantada no espaçamento 3 x 2,5 m (Figura 1).

Figura 1 - Vista da área experimental (EMBRAPA, CNPMF, Cruz das Almas - BA)

O solo da área é um Latossolo Amarelo distrófico típico, sendo suas características físico-hídricas apresentadas pela Tabela 1.

Tabela 1 - Características Físico-hídricas do solo da área experimental

Profundidade (m)	Textura			Porosidade (%)		Densidade (Kg/dm ³)	Retenção de água (m ³ m ⁻³)		Condutividade Hidráulica (m s ⁻¹ x 10 ⁻⁷)
	Areia	Silte	Argila	Macro	Micro		- 10 KPa	- 1500Kpa	
0 – 0,2	57,7	9,9	32,4	13,34	26,34	1,50	0,2106	0,14955	160
0,2 – 0,4	51,7	8,9	39,4	11,91	28,44	1,48	0,240056	0,17094	45,28
0,4 – 0,6	49,3	37,4	37,4	11,92	26,14	1,52	0,219488	0,162488	200,00

2.2.2 Sistemas de irrigação avaliados

Foram avaliadas 10 configurações de sistemas de irrigação localizada, sendo 5 sistemas por microaspersão no experimento 1, e 5 sistemas por gotejamento no experimento 2, onde cada sistema foi identificado como tratamento, conforme se segue:

- *Experimento com sistemas de Microaspersão:*

T1 – Microaspersores de 32 L h⁻¹, sendo um emissor por quatro plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas;

T2 – Microaspersores de 43 L h⁻¹, sendo um emissor por quatro plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas;

T3 - Microaspersores de 60 L h⁻¹, sendo um emissor por quatro plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas;

T4 - Microaspersores de 60 L h⁻¹, sendo um emissor por duas plantas com uma lateral próximo e ao longo de uma fileiras de plantas;

T5 - Microaspersores de 60 L h⁻¹, sendo um emissor por duas plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas.

- *Experimento com sistemas de Gotejamento:*

T6 – Gotejamento com dois emissores de 4 L h⁻¹ por planta com uma lateral por fileira de plantas;

T7 – Gotejamento com quatro emissores de 4 L h^{-1} por planta com uma lateral por fileira de plantas;

T8 - Gotejamento com quatro emissores de 4 L h^{-1} por planta com duas laterais por fileira de plantas;

T9 - Gotejamento com emissores de 4 L h^{-1} em faixa continua com uma lateral por fileira de plantas;

T10 - Gotejamento com emissores de 4 L h^{-1} em faixa continua com duas laterais por fileira de plantas

O delineamento experimental utilizado nos experimentos foi em blocos ao acaso, com cinco tratamentos e quatro repetições, sendo cada parcela experimental constituída de 10 plantas com seis plantas úteis.

2.2.3 Construção, calibração e instalação das sondas de TDR

A construção das sondas de TDR foi feita utilizando-se de hastes com comprimento efetivo, fora da resina, de 0,1m, espaçadas de 0,017m com cabos coaxiais de 50 ohms e comprimento da camada de resina de poliéster no inicio das hastes de 5cm, conforme propõem Silva et. al. (2005).

A calibração quanto às leituras de umidade do solo dos sensores foi feita mediante a coleta de solo na área experimental. Em laboratório, seguiu-se a metodologia de TFSA (solo seco ao ar, destorreado e passado em peneira de 2 mm), posteriormente, colocou-se o solo em tubos de PVC, acomodando-o de forma homogênea até atingir a densidade do solo no campo. Na parte inferior do tubo colocou-se telas bem finas com a função de permitir apenas a passagem da água para o exterior do tubo. Depois saturou-se o solo no interior do tubo durante 24 horas, nos quais foram inseridas as guias de onda até cobrir completamente as hastes. A partir daí iniciou-se as leituras do peso do conjunto tubo – sonda – solo – tela, feita com balança analítica e estimando-se a umidade pela TDR. A princípio, as leituras foram feitas de cinco em cinco minutos. Na medida em que foi ocorrendo à redução na percolação, as leituras foram sendo feitas em maiores intervalos de tempo. Quando a umidade do solo atingiu valores tais que o peso do conjunto tubo-sonda-solo-tela tornou-se pouco

variável, foi procedido o seu secamento em estufa a 110°C. A umidade volumétrica referente a cada pesagem do conjunto foi determinada pela eq.1:

$$\theta = \left(\frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_3} \right) \cdot \rho_b \quad (1)$$

Em que:

θ = Umidade volumétrica do solo (m m^{-3});

P_1 = Peso do conjunto tubo – solo – sonda – tela (kg);

P_2 = Peso seco do solo no conjunto tubo – solo – sonda – tela (kg);

P_3 = Peso do tubo, sonda e tela (kg);

ρ_b = Densidade do solo (kg dm^{-3}).

Partindo do conhecimento de que a umidade é proporcional ao tempo de percurso do pulso eletromagnético (TOPP et al., 1980), tem-se como a propriedade principal que influencia a velocidade de condução de uma onda eletromagnética a constante dielétrica, que é a medida da capacidade de um material não condutor transmitir ondas ou pulsos. Desta forma, a constante dielétrica aparente do solo é uma resultante das constantes dielétricas dos meios presentes no solo, isto é, do meio poroso (ar), do meio líquido (água), e meio sólido (partículas de solo). A constante dielétrica tem diferentes valores conforme o meio, e a presença da água tem um efeito muito superior em relação aos demais componentes do solo. Sendo assim, no presente trabalho, a constante dielétrica referente a cada leitura indireta foi obtida pela equação derivada de Fellner-Feldegg (1969) (eq.2):

$$\varepsilon_b = \left(\frac{c \Delta t}{2L} \right) \quad (2)$$

Em que:

ε_b = constante dielétrica aparente do solo

c = velocidade da luz (m s^{-1});

Δt = tempo de propagação (s) da onda eletromagnética na haste da guia de onda

L = comprimento da haste (m).

Desta maneira a determinação da umidade do solo, para a presente pesquisa foi tomada com base no ajuste dos valores obtidos por gravimetria em relação aos dados da ϵ_b estimados, conforme recomenda (TOPP, 1980).

Após construídas e calibradas, as sondas de TDR foram instaladas horizontalmente em um plano vertical do solo a várias distâncias horizontais (r_i) e profundidades (z_j), na direção da linha de gotejadores ou ao microaspersor numa malha de 0,20 m x 0,20 m, com limites r de 1,0m e z de 1,0m (Figuras 2, 3A e 3B).

Figura 2 - Esquema da disposição das sondas de TDR no campo

Figura 3 - Momento da instalação das sondas de TDR no campo (A) e TDR montada em campo (B)

2.2.4 Medida dos parâmetros de crescimento e produção da bananeira

O crescimento das plantas foi avaliado no período de emissão floral, onde foi feita a medida da altura das plantas e do diâmetro do caule. Os parâmetros avaliados para medida da produtividade da bananeira foram: produtividade de pencas, número de frutos por cacho e peso médio do fruto. Estes parâmetros, tanto os de crescimento, como os de produtividade, foram submetidos à análise de variância conforme o delineamento experimental posposto, a comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

2.2.5 Determinação da distribuição de raízes

A coleta das amostras de raízes no campo foi feita com uso de um coletor de $5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ de volume (0,1m de comprimento x 0,05 m de largura x 0,1m de altura). Para isso, foram feitas trincheiras com dimensões de 1,30 m de comprimento horizontal por 1m de profundidade, abertas seguindo a direção da linha de gotejadores, no caso do gotejamento, e seguindo a direção dos microaspersores, no caso da microaspersão. No total, foram retiradas 30 amostras de $5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ de solo e raízes em cada trincheira, sendo elas nas camadas 0,0 – 0,15 (z 1), 0,20 -0,30 (z 2), 0,40 – 0,50 (z 3), 0,60 -0,70 (z 4) e 0,80-0,90m (z 5) de profundidade e 0,0 – 0,10 (r 1), 0,20 -0,30 (r 2), 0,40 – 0,50

(r 3), 0,60 -0,70 (r 4) e 0,80-0,90 (R 5), 1,0 – 1,10m (R 6) e 1,20-1,30m (R 7) em distância horizontal (Figura 4).

Figura 4 - Retirada de amostras de raízes no campo

As amostras, previamente identificadas, foram conduzidas ao laboratório, onde foram separadas do solo por um processo de lavagem em água corrente, utilizando-se de um sistema de peneiras com malhas de 0,5 e 1mm, conforme recomenda Bohm (1979). Em seguida, as raízes foram distribuídas em filmes de transparências, para posteriormente serem digitalizadas em Scanner, conforme metodologia proposta por Coelho et al. (2005), sendo o comprimento total presente em cada amostra “L_r” (cm) obtido com uso do aplicativo computacional *Rootedge* (KASPAR; EWING, 1997). Assim, a densidade de comprimento de raízes (DCR) foi determinada pela eq.3:

$$DCR = \frac{L_r}{V_r} \quad (3)$$

Em que:

DCR – densidade de comprimento de raízes (m m⁻³),

L_r – comprimento de raízes (m),e

V_r – volume da amostra (m³).

As isolinhas de densidade de comprimento de raízes e superfície de resposta das percentagens de comprimento total de raízes foram elaborados com uso do *software surfer 7.0*. Para isto, utilizou-se a média de três plantas para cada tratamento. Considerou-se como profundidade e distância efetiva as regiões onde concentrou-se 80% do comprimento total de raízes, conforme sugeriram Santos (2002), Vieira et al. (1996) e Kanber et al. (1996).

2.2.6 Determinação da Eficiência de Aplicação de Água

A determinação da Eficiência de Aplicação de Água foram realizadas no experimento de Microaspersão nos tratamentos T1, T3 e T5, e no experimento de Gotejamento nos tratamentos T6, T7 e T9.

Os cálculos das lâminas de água infiltrada (LTI) após a irrigação e extraída do sistema (LTE) foram feitas a partir dos dados de umidade computados em tempos específicos: (i) tempo imediatamente antes da irrigação do dia (k); (ii) correspondente àquele em que a água de irrigação teria atingido a posição mais profunda do plano ($k+1$), caracterizado pelo momento em que se verifica o aumento dos valores de umidade na sonda localizada a 0,9 m de profundidade; (iii) tempo final antes da próxima irrigação ($k+2$) (Figura 5).

Figura 5 - Identificação dos tempos (k), ($k+1$) e ($k+2$) utilizados para determinação da "LTI" e "LTE" na zona do sistema radicular da bananeira

Assim, definido os tempos (k), (k+1) e (k+2) a diferença entre as umidades tomadas após a irrigação (θ_{j+1}) e antes de uma irrigação (θ_j), permitiu a determinação da lâmina de água infiltrada no tempo (k+1) – (k), em cada posição “r_i” da malha desde a superfície (z = 0) até a profundidade onde encontrava-se a sonda mais profunda (z = L) (eq.4):

$$LTI = \int_0^L [\theta_{k+1}(z) - \theta_k(z)] dz \quad (4)$$

em que:

LTI - Lâmina de água infiltrada em cada posição “r_i” da malha (mm),

$\theta_{k+1}(z)$ - umidade após a irrigação em um ponto “z_j” (mm), e,

$\theta_k(z)$ - umidade antes da irrigação em um ponto “z_j” (mm).

A determinação da lâmina de água média infiltrada no volume de controle do sistema radicular da bananeira pôde ser efetuada pela eq. 5:

$$LTI_i = \frac{\sum_{i=1}^n LTI}{n} \quad (5)$$

em que:

LTI_m - Lâmina média total infiltrada (mm),

LTI - lâmina de água infiltrada em cada posição R_n da malha (mm),e,

n - número de pontos (r_i).

A diferença entre as umidades tomadas em um tempo após a irrigação (k+1) e antes da próxima irrigação (k+2), em um ponto “r_i” da malha, permitiu a determinação da lâmina de água extraída no mesmo ponto (eq.6):

$$LTE = \int_0^L [\theta_{k+1}(Z) - \theta_{k+2}(Z)] dz \quad (6)$$

em que,

LTE - Lâmina de água extraída em cada posição R_n da malha (mm),

$\theta_{k+1}(Z)$ - umidade após a irrigação em um ponto (z_j) (mm), e,

$\theta_{k+2}(Z)$ - umidade antes da próxima irrigação em um ponto(z_j) (mm).

O valor da lâmina de água média total extraída foi obtida pela equação abaixo (eq.7):

$$LTE_m = \frac{\sum_{i=1}^n LTE}{n} \quad (7)$$

Com base na distribuição das raízes das plantas, definiu-se como a profundidade efetiva das raízes, aquela em que se concentrou até 80% do total das raízes. A partir daí, calculou-se a perda por percolação em cada ponto (r_i, z_j), localizada logo abaixo da profundidade efetiva das raízes, utilizando-se para isto, a equação abaixo (eq.8):

$$DP = \int_{k+1}^{k+2} q dt \quad (8)$$

Em que:

$$q = \frac{\theta - \theta'}{t} \cdot \frac{V}{A} \quad (9)$$

sendo:

V - volume da seção onde a sonda esta inserida no solo (0,20 m x 0,20 m x

A - área da seção onde a sonda esta inserida no solo (0,20 m x 0,20 m),e,

t - intervalo de tempo (1h).

q - fluxo de água no solo

θ - umidade no tempo t .

θ' - umidade no tempo $t + 1$ hora.

Dessa forma a perda por percolação média no perfil foi obtida por (eq. 10):

$$DP_m = \frac{\sum_{R=1}^n DP}{n} \quad (10)$$

Os valores de DPm calculados para diferentes tempos após o início da irrigação (A.I) para os tratamentos T1, T2 e T3 foram comparados pelo teste (LSD) a 5% de probabilidade.

A eficiência média de aplicação de água (E_a), foi obtida pela equação 11:

$$E_a = \frac{LTE_m - DP_m}{LTI_m} \quad (11)$$

2.2.7 Determinação do posicionamento de sensores de água no solo

A determinação do posicionamento de sensores de água no solo foram feitos no experimento de Microaspersão nos tratamentos T1, T3 e T5, e no experimento de Gotejamento nos tratamentos T6, T7 e T9.

A partir dos dados coletados no sistema de aquisição de dados composto pelo equipamento de TDR e datalogger CR10X, programado para armazenar leituras da umidade do solo a cada 10 minutos, foi possível em cada ponto de monitoramento do perfil (r_i, z_i) calcular a lâmina de água extraída [$LE_{(r_i, z_i)}$], 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 (K+1), e um tempo antes da próxima irrigação, denominado de (K+2) (Figura 6).

Figura 6 - Identificação dos tempos (K+1) e (K+2)

De posse dos dados de umidade do solo de todas as sondas, foi possível calcular a lamina de água extraída pela planta nos diversos pontos da malha [$LE_{(Ri, Zi)}$] (eq. 12):

$$LE_{(RiZi)} = \theta_{(k+1)} - \theta_{(k+2)} \quad (12)$$

Em que:

$\theta_{(k+1)}$ - umidade do solo logo após a irrigação ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)

$\theta_{(k+2)}$ - umidade do solo imediatamente antes da irrigação subsequente ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)

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 e “DER” a distância que contém 80% do total de comprimento de raízes. Conforme sugerido por Santos (2002) a partir do conhecimento da área de maior atividade das raízes, caracterizou-se a profundidade efetiva de extração (PEe) e a distância efetiva de extração (DEe), 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 “DEe” a região do perfil do solo a partir do pé da planta onde se observa 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 monitoramento do perfil (r_i, z_i), tomando como base a curva característica de água do solo, empregando-se para tal a equação 13:

$$AD_{(r_i, z_i)} = \left(\frac{\theta_{(r_i, z_i)} - \theta_{pmp}}{\theta_{cc} - \theta_{pmp}} \right) \times 100 \quad (13)$$

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 ($m^3.m^{-3}$),

θ_{pmp} – Umidade referente ao ponto de murcha permanente ($m^3.m^{-3}$), e

θ_{cc} – Umidade referente à capacidade de campo ($m^3.m^{-3}$).

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Produtividade da bananeira

2.3.1.1 Produtividade da bananeira irrigada por sistemas de microaspersão

Na Tabela 2, encontram-se as médias dos parâmetros de produção da bananeira Maçã Tropical sob cinco configurações de sistemas de irrigação por microaspersão. Para as plantas irrigadas pelas diferentes configurações dos sistemas de irrigação por microaspersão, a análise de variância não foi significativa, ao nível de 5% de probabilidade, para quaisquer variáveis analisadas, quer seja de crescimento (altura de plantas e diâmetro de caule), quer seja de produção (número de frutos por cacho, peso médio de frutos e produtividade de pencas). No sistema em que se utilizou um microaspersor de $43 L h^{-1}$ para quatro plantas alcançou-se a maior produtividade das configurações estudadas, $25,16 Mg ha^{-1}$. A menor produtividade, $21,40 Mg ha^{-1}$, foi verificada no sistema que continha um microaspersor de $60 L h^{-1}$ para quatro plantas, sendo a diferença de produtividade entre estes sistemas de 17,5%. As produtividades obtidas nos tratamentos foram satisfatórias para o primeiro ciclo da cultura, considerando a cultivar BRS tropical, que segundo Silva et al. (2003) tem potencial para

produzir entre 10 e 20 Mg ha⁻¹, podendo chegar a 30 t/ha. Os tratamentos T1 e T4 apresentaram valores médios muito próximos e seguiram o maior valor absoluto obtido pelo tratamento T2. Os maiores pesos médios de frutos ocorreram nos tratamentos T1 e T2, sendo que o tratamento T5 foi o de maior número de frutos e de maior altura, mas o de menor peso médio de frutos, o que fez reduzir a sua produtividade.

Tabela 2 - Médias dos parâmetros de produção da bananeira Maçã Tropical sob cinco configurações de sistemas de irrigação por microaspersão

Tratam.	Altura de plantas (m)	Diâmetro do caule (m)	Produtividade de pencas (Mg ha ⁻¹)	Número de Frutos/cacho	Peso médio de frutos (g)
T2	1,99	0,28	25,16	109	171,63
T1	2,21	0,27	23,46	105	172,65
T4	2,06	0,27	23,18	108	160,47
T3	2,22	0,27	21,88	105	160,16
T5	2,29	0,28	21,40	111	140,90

2.3.1.2 Produtividade da bananeira irrigada por gotejamento

A análise de variância não foi significativa ao nível de 5% de probabilidade para as variáveis altura de plantas, diâmetro de caule, peso de pencas e peso médio de frutos, tendo sido significativa para número de frutos por cacho. As produtividades médias apresentadas por tratamento na Tabela 3 variaram de 16,74 a 20,66 Mg ha⁻¹, sendo que a maior diferença foi em relação ao tratamento 10, uma vez que as diferenças entre as produtividades do tratamento 6 ao 9 foi no máximo de 7%. A média de T10 foi 15% superior a de T9. Tais produtividades foram satisfatórias para o primeiro ciclo da cultura, considerando a cultivar BRS tropical, que segundo Silva et al. (2003) tem potencial para produzir entre 10 e 20 Mg ha⁻¹, podendo chegar a 30 Mg ha⁻¹, entretanto, foram inferiores aquelas obtidas nos sistemas de microaspersão (Tabela 4). As médias de número de frutos por cacho acompanharam as de produtividades, com pequena diferença entre os tratamentos 6, 7, 8 e 9 e maior diferença em relação ao T10, que diferiu do T9. Os tratamentos T7 e T6 tiveram produtividades próximas a da média máxima obtida (T10), com uma relevante diferença em termos de custo, já que no sistema de gotejamento correspondente ao T10 se gastou o dobro do comprimento de linhas laterais, 5 vezes o número de gotejadores em relação a T6 e 2,5 vezes o número de gotejadores em relação a T7. Os resultados podem ser reforçados pelos

resultados de altura de plantas e diâmetro de caule observados por ocasião da colheita (Tabela 3), onde não houve efeito dos tratamentos nesses parâmetros de crescimento, cujas médias são muito próximas em valores absolutos entre si. Assim, os tratamentos T6 e T7, com uma linha lateral por fileira de plantas com dois e quatro gotejadores, respectivamente, podem ser usados nas condições dos Tabuleiros Costeiros para a cultura da bananeira.

Tabela 3 - Médias dos parâmetros de produção da bananeira Maçã Tropical sob cinco configurações de sistemas de irrigação por gotejamento

Tratam.	Altura de plantas (m)	Diâmetro do caule (m)	Produtividade de pencas (t/ha)	Número de Frutos/cacho	Peso médio de frutos (g)
T9	3,22	0,2743	17,68	95,91 a1	137,56
T8	3,20	0,2739	16,74	97,63 a1 a2	129,15
T7	3,17	0,2789	17,94	98,81 a1 a2	135,12
T6	3,24	0,2828	17,36	103,64 a1 a2	129,04
T10	3,25	0,2867	20,66	115,27 a2	129,84

2.3.1.2.3 Análise conjunta dos sistemas de irrigação

O teste t de comparação de médias das variáveis avaliadas para microaspersão e gotejamento indicou ter havido diferença estatística entre as médias das variáveis dependentes relativas a produção (Tabela 4) para os dois sistemas de irrigação. Portanto, a bananeira BRS Tropical respondeu melhor a microaspersão que ao gotejamento, o que pode ser explicado pela maior área molhada em todos os tratamentos sob microaspersão comparada ao gotejamento. Esses resultados mostram que a microaspersão, apesar de ser desvantajosa para a bananeira nos primeiros cinco meses do plantio (COELHO FILHO et al., 2005) consegue recuperar no restante do ciclo quando o sistema radicular da bananeira está suficientemente desenvolvido.

Tabela 4 - Comparação de médias pelo teste t para as variáveis de produção nos dois sistemas de irrigação (gotejamento e micropaspersão)

Sistema de irrigação	Produtividade de pencas (Mg ha ⁻¹)	Numero de Frutos por cacho	Peso médio de frutos (g)
Microaspersão	23,16 a	107 a	161,18 a
Gotejamento	18,07 b	102 b	132,14 b

2.3.2 Distribuição das raízes no solo

2.3.2.1 Distribuição das raízes das plantas irrigadas por microaspersão

Na Figura 7 encontram-se as percentagens de comprimento total de raízes acumuladas no perfil do solo para as distâncias verticais e horizontais. Na Figura 8 estão dispostas as isolinhas de densidade de comprimento de raízes no perfil do solo para os sistemas de microaspersão estudados.

Em todos os sistemas de microaspersão estudados, as raízes concentraram-se em sua maior parte próxima a superfície, com a densidade de comprimento decrescendo ao longo do perfil com a profundidade. Para todos os tratamentos, as maiores percentagens de comprimento de raízes foram verificados na camada 0-0,2m de profundidade, para os tratamentos 1, 2 e 3, nesta camada, encontrou-se 45,64%, 47,75% e 49,84% do comprimento total de raízes no perfil do solo, respectivamente. Nos tratamentos que se utilizou um emissor para duas plantas (tratamentos 4 e 5) a concentração de raízes na camada 0-0,2 m foi ainda maior, 65,54% e 61,22%, nesta ordem. A maior concentração de raízes próximo à superfície do solo nos sistemas que utilizam um emissor para duas plantas comparado aos sistemas que utilizam um emissor para quatro plantas, pode estar associado à disponibilidade de água. Como na microaspersão a água é infiltrada em sua maior parte próximo do emissor, isto induz um crescimento das raízes para zonas mais profundas onde a água é mais facilmente disponível, já que nem toda zona radicular é umedecida. Ao se utilizar um emissor para duas plantas, a infiltração da água reposta se dá mais próxima do pseudocaule, assim, a zona radicular da planta torna-se mais bem umedecida, diminuindo assim o crescimento das raízes para camadas mais profundas, o que vai de acordo com Pedó (1986) e Wilhelm et al. (1992).

Figura 7 - Percentagens de comprimento total de raízes acumuladas no perfil do solo para o Tratamento 1 (a), Tratamento 2 (b), Tratamento 3 (c), Tratamento 4 (d) e Tratamento 5 (e)

Figura 8 - Isolinas de densidade de comprimento de raízes no perfil do solo para os sistemas de microaspersão estudados. Tratamento 1 (a), Tratamento 2 (b), Tratamento 3 (c), Tratamento 4 (d) e Tratamento 5 (e)

Para todos os tratamentos estudados, a profundidade efetiva do sistema radicular da bananeira ocorreu até os 0,5m, concordando com os valores obtidos por Calheiros (1992) e Borges et al. (2008).

Quanto à distribuição horizontal, as raízes concentraram-se mais próximo ao pseudocaule das plantas, sendo que para o tratamento 1 a distancia efetiva foi de 0,6m, tratamento 2 de 0,7m, tratamento 3 de 0,6m, tratamento 4 de 0,65m e tratamento 5 de 0,5m.

2.3.2.2 Distribuição das raízes das plantas irrigadas por gotejamento

A distribuição da percentagem de comprimento total de raízes em camadas, e as isolinhas de distribuição da densidade de comprimento de raízes no solo para os sistemas de irrigação por gotejamento encontram-se ilustrado nas Figuras 9 e 10, respectivamente.

Com exceção dos tratamentos 7 e 9, onde registrou-se, respectivamente, uma profundidade efetiva de 0,6 m e 0,25m, nos demais tratamentos verificou-se que a profundidade efetiva de comprimento de raízes vai até 0,3m.

As maiores percentagens de comprimento de raízes se encontraram próximo aos gotejadores. No sistema T6, a distância efetiva de raízes foi de 0,4m, sendo que nos 0,3 m já havia 74,22% do comprimento total de raízes. Neste sistema, o gotejador localizava-se a 0,2m do pseudocaule da planta. No sistema com quatro emissores por planta (Tratamento 7), os gotejadores localizavam-se a 0,2 e 0,6 m da planta, neste, as raízes prolongaram-se mais no perfil do solo em comparação ao T6, e se distribuíram em quantidades mais uniformes nas camadas, onde obteve-se nas distâncias horizontais de 0,1, 0,3, 0,5 e 0,7m o percentual de 18,79, 29,80, 22,80 e 22,42 % do comprimento total de raízes, nesta ordem. A distância efetiva de comprimento de raízes registrada neste sistema foi 0,6m.

No sistema com quatro gotejadores em duas laterais por fileira de planta (Tratamento 8), as raízes desenvolveram-se mais na horizontal que o sistema T6, porém menos que o T7, tendo-se a maior parte das raízes concentradas nas distâncias horizontais de 0,1 e 0,3m, que foram 38,54 e 30,14%, respectivamente. Este sistema

era composto por 2 gotejadores localizados em 0,2 m do pseudocaule da planta, um em cada linha lateral. A distância efetiva registrada neste sistema foi de 0,5 m.

As raízes das plantas irrigadas pelo sistema com gotejadores distribuídos continuamente em uma linha lateral de irrigação (Tratamento 9), apresentaram maior desenvolvimento de raízes em distância horizontal, sendo que na camada $r_i = 0,9$ m encontrou-se 24,64% do comprimento total de raízes, e tendo como distância efetiva 0,8 m. As raízes deste sistema desenvolveram menos em profundidade quando comparado aos demais sistemas, na camada mais superficial do perfil ($z = 0,1$ m) encontrou-se 55,28% do comprimento total de raízes. A extensão das raízes deste sistema na lateral do perfil, evidencia a influencia da distribuição de água no solo no desenvolvimento das raízes, como neste sistema a água é distribuída em toda lateral, as raízes não ficam restrita a uma pequena porção de solo, o que foi observado também por Coelho e Or (1999).

No sistema composto por duas linhas laterais com gotejadores distribuídos continuamente (Tratamento 10), as raízes também apresentaram um bom desenvolvimento lateral, porém menos que o T9. A distância efetiva de comprimento de raízes deste sistema foi de 0,7 m.

Figura 9 - Percentagens de comprimento total de raízes acumuladas no perfil do solo para o Tratamento 6 (a), Tratamento 7 (b), Tratamento 8 (c), Tratamento 9 (d) e Tratamento 10 (e)

Figura 10 - Isolinhas de densidade de comprimento de raízes no perfil do solo para os sistemas de gotejamento estudados. Tratamento 6 (a), Tratamento 7 (b), Tratamento 8 (c), Tratamento 9 (d) e Tratamento 10 (e)

2.3.3 Eficiência de Aplicação de Água

2.3.3.1 Eficiência de aplicação de água em sistemas de microaspersão

Os perfis de distribuição superficial de água dos emissores dos diferentes sistemas avaliados nas várias distâncias horizontais r_i são mostrados na Figura 11. Em concordância com Matos (1999) e Conceição e Coelho (2004) os resultados mostram que os maiores valores de precipitação sempre foram registrados nos coletores mais distantes da planta e próximo aos microaspersores, sendo que na distância $r = 1$ m registrou-se precipitações iguais a 4,58 mm, 10,2 mm e 5,0 mm e na distância $r = 0,2$ m precipitações de 1,05 mm, 0 mm e 2,0 mm para os sistemas T1, T3 e T5, respectivamente. A Figura 12 ilustra a distribuição percentual dos teores de água disponível no solo logo após o término da irrigação, que se comporta de forma multidimensional e desuniforme, sendo que à medida em que se distancia da planta e aproxima-se do microaspersor estes teores tornam-se mais elevados, coincidindo com as regiões onde coletou-se na superfície do solo os maiores volumes de água aplicados pelos microaspersores. Para os sistemas T1, T3 e T5 verificou-se que nas distâncias $r = 0,2$ m os teores médios de água disponível no solo até a profundidade efetiva das raízes da bananeira foram de 64,4%, 52,7%, 68,9% e na distância $r = 1,0$ m foram 92,9%, 89,3%, 83,9%, respectivamente.

Figura 11 - Precipitação em relação à distância da planta em direção ao microaspersor referentes aos tratamentos T1 (A), T3 (B), T5 (C)

Figura 12 - Teores de água disponível em percentagem partindo da planta em direção ao emissor nos tratamentos T1 (A), T3 (B) e T5 (C)

Houve perdas de água por percolação em todos os sistemas de microaspersão estudados. Na Tabela 4 encontram-se os valores médios de lamina de água percolada em diferentes tempos após o início da irrigação (A.I) para os tratamentos T1, T3 e T5. Pela comparação das médias dos tratamentos nos tempos específicos constatou-se que os valores de lamina de água percolada variaram significativamente em função das configurações dos sistemas de irrigação por microaspersão testadas até 1h após o início da irrigação (A.I), a partir daí, nos tempos de 2h e 4h as médias dos valores percolados foram diferentes e superiores apenas para o tratamento T3, não se constatando diferenças significativas nos valores de lamina médias percoladas de 6h até 14h após o início da irrigação.

Tabela 5 - Valores médios de percolação em diferentes tempos após a irrigação (A.I) em sistemas de irrigação por microaspersão

Tratamentos	Água Percolada (mm)							
	1h	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h
T1	0,1878 ab	0,1165 a	0,1147 a	0,1015 a	0,0871 a	0,0344 a	0,0117 a	0,0056 a
T3	0,2531 b	0,4960 b	0,2416 b	0,1024 a	0,0752 a	0,0970 a	0,0136 a	0,0009 a
T5	0,1097 a	0,4960 a	0,0968 a	0,1156 a	0,0953 a	0,0419 a	0,0253 a	0,0118 a

*Valores seguidos por letras iguais não diferem significativamente pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

No sistema T1, as menores lâminas de água infiltrada ocorreram na região compreendida entre o pseudocaule da planta até a distância $r = 0,4$ m, onde se concentraram 63,32 % do comprimento total de raízes em r_i . Nesta região, praticamente não se registrou perdas de água por percolação. Já a partir da distância $r = 0,8$ m, houve consideráveis perdas de água por percolação chegando a 2,1mm em $r = 1$ m (Figura 13). Em média a lâmina de água perdida por percolação (DP_m) no sistema T1 foi de 1,055mm, e a razão entre a quantidade de água repostada por este sistema e a água retida no sistema radicular da planta foi de 0,8501, ou seja, obteve-se uma eficiência de aplicação de água (Ea) de 85,01%.

Figura 13 - Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada na irrigação da bananeira pelo sistema que utiliza um microaspersor de 32 L h⁻¹ para quatro plantas (T1)

No sistema com um microaspersor de 60 L h⁻¹ para quatro plantas (T3), verificou-se a maior desuniformidade de distribuição de água em relação às diferentes distâncias horizontais r_i da planta em direção ao micro, tendo-se que em média a LTI na distância $r = 0,2$ m foi de 0,9 mm e na distância $r = 1$ m foi de 9,2 mm, sendo as perdas de água por percolação nas distâncias $r = 0,6$ m, 0,8 m e 1 m iguais a 1,89mm, 2,6mm e 2,41mm, respectivamente (Figura 14). Apesar do desenvolvimento horizontal das raízes da

bananeira submetida a este sistema, foi registrado as maiores perdas de água por percolação ($DP_m = 1,9$ mm), sendo registrada uma eficiência de aplicação de água deste sistema de 79,72%.

Figura 14 - Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada na irrigação da bananeira pelo sistema que utiliza um microaspersor de 60 L h^{-1} para quatro plantas (T3)

As menores diferenças nos valores de LTI em relação as diferentes distâncias r_i da planta foi obtido no sistema que utiliza um microaspersor de 60 L h^{-1} para duas plantas (Figura 15). A DP_m para este sistema foi a mais baixa dos sistemas avaliados (0,96 mm) e a eficiência de aplicação e água foi a mais alta 89,54%.

Figura 15 - Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada na irrigação da bananeira pelo sistema que utiliza um microaspersor de 60 L h⁻¹ para duas plantas (T5)

Os resultados mostram a ocorrência de maior extração de água pela planta na medida em que se verifica um aumento na uniformidade de água distribuída no solo, o que está de acordo com Koumanov et al. (1997); Koumanov (1994); Goldhamer et al. (1985) e Post et al. (1985). Para um mesmo volume de água aplicado, obteve-se menores valores de DP_m a medida que a distribuição da água no solo deu-se de forma mais uniforme, consequentemente, a LTE_m foi maior, o que resultou em melhores valores de eficiência de aplicação de água.

2.3.3.2 Eficiência de aplicação de água em sistemas de gotejamento

Assim como nos sistemas de irrigação por microaspersão avaliados, houve perdas de água por percolação em todos os sistemas de gotejamento avaliados. Os valores médios de água percolada em diferentes tempos após o início da irrigação (A.I) para os tratamentos T6, T7 e T9 são apresentados na Tabela 6. Pela comparação da média das lâminas de água percolada dos tratamentos em tempos específicos, percebe-se que as lâminas estão variando significativamente de acordo a configuração

do sistema de irrigação por gotejamento apenas na primeira hora após o início da irrigação, não ocorrendo diferença significativa nos valores da laminas médias percoladas no período entre 2horas e 14horas após o início da irrigação.

Tabela 6 - Valores médios de percolação em diferentes tempos após a irrigação (A.I) em sistemas de irrigação por gotejamento

Tratament os	Água Percolada (mm)							
	1h	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h
T6	0.2518 a	0.0725 a	0.0486 a	0.1160 a	0.0288 a	0.0821 a	0.0399 a	0.0000 a
T7	0.1109 b	0.0510 a	0.1006 a	0.0270 a	0.0174 a	0.0397 a	0.0234 a	0.0094 a
T9	0.1246 ab	0.0636 a	0.0414 a	0.0543 a	0.0317 a	0.0122 a	0.0252 a	0.0245 a

*Valores seguidos por letras iguais não diferem significativamente pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

No tratamento T6 verificou-se uma região de grande intensidade de extração de água compreendida entre as distâncias horizontais da planta de 0 m a 0,4m, onde se verificou também a maior percentagem de comprimento de raízes, ou 82,24% do comprimento total das raízes (Figura 16).

Figura 16 - Comprimento total de raízes e extração de água em diferentes distâncias horizontais da planta, no tratamento T6

A infiltração da água no solo no sistema que utiliza dois emissores de 4 Lh^{-1} por planta em uma lateral por fileira de plantas (T6), ocorreu em sua maior parte próximo ao pseudocaule da planta, não ultrapassando a distância (r) de 0,6m. Isto é justificado pela posição do gotejador que se localizava à aproximadamente 0,2m da planta. As perdas de água por percolação foram verificadas também, até à distância de 0,6m da planta,

sendo mais intensa em R- 0,2m (2,82mm). A DP_m observada para este tratamento foi 1,36mm (Figura 17).

Figura 17 - Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada em diferentes distâncias horizontais da planta (R) no tratamento T6

Diante dos resultados supracitados, percebe-se que a disposição do gotejador delimitou indiretamente as zonas de extração de água e a distribuição das raízes da planta do tratamento T6. Este fato está de acordo com uma série de estudos que envolvem a distribuição de água e raízes em sistema de irrigação localizada (COELHO et al, 2006, SILVA et al., 2006, SANTOS et al. 2005, COELHO; OR, 1999). As distribuições de água e raízes no solo verificadas no sistema T6, deram condições para que nos dias em que a TDR permaneceu neste tratamento a razão entre a lâmina de água média retida no sistema radicular da planta (mm), e a lâmina de água média resposta por esse sistema (mm), resultasse em um valor de 0,8272. Ou seja, em média, uma eficiência de aplicação de água (E_a) de 82,72%.

Verificou-se que as zonas de atividade do sistema radicular da bananeira submetida ao sistema de irrigação por gotejamento com quatro emissores de 4 L h^{-1} por planta em uma lateral por fileira de plantas (T7), ocorreram até a distância horizontal (r) de 0,7m, onde 24,23%, 27,93%, 21,04% e 21,01% do comprimento total das raízes

localizaram-se nas distâncias R=0,1m, R=0,3m, R=0,5m, R=0,7m respectivamente (Figura 18). A infiltração da água no sistema T7 estendeu-se mais na distância horizontal (r) do perfil do solo, quando comparado ao sistema T6. As perdas por percolação (DP_m) foram 18,43% menores que as verificadas no sistema com um emissor por planta (Figura 19), sendo a média da eficiência de aplicação de água (E_a) calculada para o sistema composto por quatro emissores de $4Lh^{-1}$ de 88,08%.

Figura 18 - Comprimento total de raízes e extração de água em diferentes distâncias horizontais da planta (R), no tratamento T7

Figura 19 - Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada em diferentes distâncias horizontais da planta (R) no tratamento T7

A lâmina de água média percolada (DPM) verificada no tratamento T9 foi 52,50% e 41,76% menor que as observadas nos sistemas com dois emissores e quatro emissores, respectivamente. Isto é resultado de uma melhor distribuição de água ao solo proporcionado pela configuração dos cinco gotejadores, dando condição a uma boa distribuição do sistema radicular, fazendo com que a extração da água ocorresse em toda distância horizontal (r) (Figura 20). Estes resultados reforçam a afirmação de que a distribuição de água no solo constitui uma variável determinante na distribuição de raízes no solo sob irrigação localizada, o que concorda com Clausnitzer e Hopmans (1994), Clothier e Green (1994) e que influencia também, a eficiência de aplicação de água de um sistema de irrigação, pois se pode perceber nos sistemas estudados, que se tem uma melhor eficiência de aplicação de água na medida em que se aumenta o número de emissores por planta. Pôde-se verificar que a média de eficiência de aplicação de água (E_a) do sistema que utiliza cinco emissores de 4Lh^{-1} (T9) foi a maior dos três sistemas estudados (92,47%).

Figura 20 - Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada em diferentes distâncias horizontais da planta (R) no sistema T9

Figura 21 – Comprimento total de raízes e extração de água em diferentes distâncias horizontais da planta (R), no tratamento T9

2.3.4 Posicionamento de sensores no solo

2.3.4.1 Posicionamento de sensores no solo para o manejo da irrigação por microaspersão

A Figura 22 ilustra a distribuição percentual dos teores de água disponível no solo logo após o término da irrigação dos sistemas de microaspersão. Sobrepondo as isolinhas de água disponível encontram-se tracejados de cor azul as isolinhas de extração de água do solo. Percebe-se que a distribuição da água disponível se dá de forma multidimensional e desuniforme, sendo que de acordo com que se distancia da planta e aproxima-se do microaspersor estes teores tornam-se mais elevados, coincidindo com as regiões onde coletou-se na superfície do solo os maiores volumes de água aplicados pelos microaspersores.

Pode-se notar que as zonas de extração de água são influenciadas pela distribuição de água no solo, pois no tratamento T1 onde em média após a irrigação obteve-se na distância “r” de 0,2m um teor de A.D igual a 64,44%, a percentagem de água extraída foi 11,38% do total extraído da zona efetiva de distribuição de raízes, já na distância “r” de 0,8m onde o teor médio de água disponível foi 94,09% e a extração foi 30,95% da total. No tratamento T3, na distância “r” de 0,2 m o teor de água disponível foi de 52,7% logo após o término da irrigação, ocorrendo nessa região 10,83% do total de água extraída pela planta, neste mesmo tratamento, na distância “R”

de 0,8m o teor médio de água disponível no solo foi de 85,6%, tendo ocorrido 31,76% da extração total de água. No tratamento T5, o teor médio de A.D na distância "R" de 0,2m foi de 68,9% onde ocorreram 8,17% da extração total de água, na distância "R" de 0,8m o teor de água disponível foi de 81,2% ocorrendo 24,42% da extração total de água.

Figura 22 - Distribuição da percentagem de água disponível no solo e zonas de extração de água no solo T1 (a), T3 (b), T5 (c). Linhas Tracejadas equivalem a extração de água no solo

Na Figura 23 encontra-se as percentagens de extração de água acumuladas nas distâncias "r" e "z". Partindo do pseudocaule das plantas, obteve-se a Distância Efetiva de Extração de água até 0,7 m, 0,8 m e 0,9 m e Profundidade Efetiva de extração de água de 0,25m, 0,3m e 0,3m para os sistemas compostos por um microaspersor de 32 L h⁻¹ para quatro plantas, um microaspersor de 60 L h⁻¹ para quatro plantas e um microaspersor de 60 L h⁻¹ para duas plantas, respectivamente.

Figura 23 - Percentagens de extração de água acumulada em distâncias e profundidades. T1 (a), T3 (b), T5 (c)

No sistema T1 os sensores de água no solo podem ser locados na região que compreende a distância "R" de 0,1 m a 0,7 m podendo ser instalado até a profundidade de 0,25 m (Figura 24a). No caso do sistema T3 os sensores podem ser instalados partindo do pseudocaule da planta até uma distância "R" de 0,8 m, sendo seu limite de profundidade 0,25m (Figura 24b). Já no sistema T5 os sensores podem ser localizados partindo da distância "R" de 0,4 m até a distância "R" de 1 m, sendo seu limite de profundidade assim como nos demais tratamentos 0,25m (Figura 24c).

Figura 24 - Região ideal para locação de sensores de água no solo (delimitação em azul) para os tratamentos T1 (a), T3 (b) e T5 (c)

No caso de utilização de tensiômetros, devido essa técnica ser limitada por uma tensão de -80Kpa, a região de instalação foi restrita aos locais onde antes do início da irrigação apresenta potencial superior a -80KPa. O local apropriado para instalação de tensiômetros no tratamento T1, é a região que compreende a distância de 0,5 e 0,7m da planta limitado pela profundidade de 0,25m (Figura 25a). No tratamento T3, a região de instalação de tensiômetros é a que vai da distância "r" de 0,5m a 0,8m, com a profundidade limite de 0,25 m (Figura 25b). No tratamento T5, recomenda-se que os tensiômetros sejam instalados na distância "r" que parte de 0,5m até 1m, na profundidade de 0,2m (Figura 25c).

Figura 25 - Região ideal para locação de tensiômetros no solo (delimitação em azul) para os tratamentos T1 (a), T3 (b) e T5 (c)

2.3.4.2 Posicionamento de sensores no solo para o manejo da irrigação por gotejamento

Nas Figuras 26a, 26b e 26c encontram-se ilustrados os teores de água disponível no perfil do solo no momento logo após o início da irrigação, no tempo (K+1), para os tratamentos T6, T7 e T9, respectivamente. Nas Figuras 27a, 27b e 27c estão dispostos as isolinhas dos valores de água disponível no solo verificado em um tempo imediatamente antes da próxima irrigação, ou seja, no tempo (K+2). Sobrepondo estas isolinhas, tem-se as linhas tracejadas em cor azul representando as regiões de extração de água pelas raízes da bananeira. 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 estas regiões apresentavam as maiores percentagens de água disponível no tempo (K+1).

Figura 26 - Teores de água disponível no perfil do solo no tempo (J+1), nos tratamentos T6(a), T7(b) e T9(c)

Figura 27 - Teores de água disponível no perfil do solo no tempo (J+2) e regiões de extração de água (linhas tracejadas) nos tratamentos T6(a), T7(b) e T9(c)

As Figuras 30a, 30b e 30c ilustram o local ideal para locação dos sensores para os tratamentos T6, T7 e T9, respectivamente. A área que compreende a interseção das linhas que partem da “DEe” e “PEe”, são indicadas para o posicionamento de sensores de água do solo. As corretas localizações dos tensiômetros para os sistemas representados pelos tratamentos T6, T7 e T9 estão ilustradas nas Figuras 31a, 31b e 31c, respectivamente, e são as regiões de potenciais mátricos maiores que -80KPa incluídas na interseção das linhas de “DEe” e “PEe”. Para a bananeira irrigada por um sistema de gotejamento com dois emissores de 4 L h^{-1} (T6), indica-se com base nas zonas efetivas de extração de água que os sensores sejam instalados partindo do pseudocaule da planta, seguindo a direção da linha lateral do sistema até a distância horizontal de 0,2m e profundidade de 0,4m, conforme encontra-se ilustrado na Figura 30a. No caso de uso de tensiômetros neste sistema, a localização do mesmo se restringirá a uma distância horizontal de 0,2m e à profundidade de solo que compreende a camada de 0,2m a 0,4m (Figura 31a). O local de instalação dos sensores no sistema que utiliza quatro emissores de 4 L h^{-1} por planta (T7), pode ser visto na Figura 30b, sendo a região ideal a que compreende a distância de 0,5m e profundidade de 0,35m. Ao se utilizar tensiômetros nestes sistemas, sugere-se que os mesmos sejam instalados até uma distância de 0,5m e na profundidade que compreende a camada de 0,25m a 0,4m (Figura 31b). Para os sistemas que utilizam emissores de 4 L h^{-1} distribuídos continuamente na linha lateral do sistema (T9), verificou-se que o local ideal para instalação dos sensores compreende a distância do pseudo-caule da planta de 0,55m e profundidade de 0,35m (Figura 30c). Para o uso de tensiômetros nestes sistemas, estes poderão ser instalados até uma distância e profundidade de 0,3m e 0,35m, respectivamente (Figura 31c).

Figura 28 - Região ideal para locação de sensores de água no solo (delimitação em azul) para os tratamentos T6 (a), T7 (b) e T9 (c)

Figura 29 - Região ideal para locação de tensiômetros no solo (delimitação em azul) para os tratamentos T6 (a), T7 (b) e T9 (c)

3 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos pôde-se concluir que:

- a) Não houve efeito dos diferentes sistemas de irrigação por microaspersão nas variáveis de produção da bananeira BRS Tropical;
- b) Não houve efeito dos diferentes sistemas de irrigação por gotejamento na produtividade da bananeira BRS Tropical;
- c) A produtividade da bananeira é maior quando irrigada por sistemas de microaspersão do que por gotejamento;
- d) A profundidade efetiva das raízes da bananeira irrigada por microaspersão e gotejamento foram 0,5 e 0,3m, respectivamente;
- e) A eficiência de aplicação de água nos sistemas que utilizam um microaspersor de 32L h⁻¹ para quatro plantas, um microaspersor de 60L h⁻¹ para quatro plantas e um microaspersor de 60L h⁻¹ para duas plantas foram de 85,01%, 79,72% e 89,54%, respectivamente;
- f) A eficiência de aplicação de água calculada para os sistemas com dois, quatro e cinco gotejadores de 4 L h⁻¹ por planta, foram 82,72%, 88,08% e 92,47%, respectivamente;
- g) Para os sistemas de microaspersão, os sensores podem ser localizados na região que compreende a distância do pseudocaule de 0,1 m a 0,7m, 0,1m a 0,8 m e 0,4 m a 1m, nos sistemas com um microaspersor de 32L h⁻¹ para quatro plantas, um microaspersor de 60L h⁻¹ para quatro plantas e um microaspersor de 60L h⁻¹ para duas plantas, respectivamente. Para todos os sistemas, a profundidade de instalação teve seu limite em 0,25 m; e
- h) Nos sistemas de gotejamento, definiu-se que o local ideal de instalação dos sensores nos sistemas que utilizam dois, quatro e cinco emissores de 4 L h⁻¹ por planta, foram as regiões que, partindo-se do pseudocaule da bananeira em direção fileira de planta, limitam-se pelas distâncias horizontais 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.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, O.T.; CASTRO NETO, M.T.; COELHO FILHO M.A. **Probabilidades de ocorrência de chuva em áreas do recôncavo sul da Bahia**. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 2004. 98 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, nº 34).

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2008. Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta Santa Cruz, p 135-137, 2008..

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, p123-146, 1997.

ASSOULINE, S. The effects of micro drip and conventional drip irrigation on water distribution and uptake. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, p. 163–166, 2002.

AVILAN R., L.; MENESES R., L.; SUCRE, R.E. Distribución radical del banano bajo diferentes sistemas de manejo de suelos. **Fruits**, Paris, v. 37, n. 2, p. 103-110,1982.

BARBER, S.A. Roots-past, present and future. In: ROOTS AND PLANT NUTRITION CONFERENCE, 1992, Champaign, Illinois (USA), p. 19-29. 1992.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6. ed.Viçosa: UFV, 1995. 657 p.

BOHM, W. **Methods of studying root systems**. New York: Springer Verlag, 1979. 190 p.

BORGES, A.L.; SOUZA, L.S.; PEIXOTO, C.A.B.; SANTOS JÚNIOR, J.L.C. Distribuição do sistema radicular da bananeira prata-anã em duas frequências de fertirrigação com uréia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 259-262, 2008.

CALHEIROS, R.O. Sistema radicular de quatro culturas em solo Glei pouco húmico da região de Londrina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, p. 299-307, 1992.

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 'Pêra'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 21, n. 2, p. 140-145, 1999.

CHISTOPHERSON, R. W. **Geosystems**: an introduction to physical geography: Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002. 626 p.

CHRISTOFIDIS, D. **O futuro da irrigação e a gestão das águas**. Brasília: MI-

SIH-DDH. 2008. 15 p. (Série Irrigação e Água, nº 1).

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. Rootzone processes and the efficient use of irrigation water. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 25, 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**. Basel: Birkhauser Verlag, 1990. p. 101-108.

COELHO, E.F.; OR, D. Root distribution and water uptake patterns of corn under surface and subsurface drip irrigation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 206, n. 2, p. 123-136, 1998.

_____. 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.; COSTA, E.L.; TEXEIRA, A.H.C. **Irrigação da bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003.32 p. (Circular Técnica, 54).

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.

COELHO FILHO, M.A. **Variabilidade espacial aplicada ao manejo da irrigação por microaspersão em lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* TANAKA)**. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

CONCEIÇÃO, M.A.F.; COELHO, R.D. Distribuição do volume de água aplicado pelo microaspersor DAN 2001. **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 3, p. 289-295, 2004.

CRUZ, A.C.R.; LIBARDI, P.L.; CARVALHO, L.A.; ROCHA, G.C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 1-10, 2005.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1984. 306 p. (Estudos FAO; Irrigação e Drenagem, 33).

FAO. **Unlocking the water potential for agriculture**. Rome, 2007. 62 p.

_____. **FAOSTAT – comercio: bananas**. 2007. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567.aspx?PageID=535&lang=es>. Acesso em: 03 out. 2008.

FEDDES, R.A.; KOWALIK, P.J.; MALINKA, K.K.; ZARADNY, H. Simulation of field water uptake by plants using a soil water dependent root extraction function. **Journal of Hydrology**, Nova Zelândia, v. 31, p. 13–26, 1976.

FELLNER-FELDEGG, H. The measurement of dielectrics in time domain. **The Journal of Physical Chemistry**, Phoenix, v. 73, n. 3 p. 616-623, 1969.

FIORAVANÇO, J.C. Mercado mundial da banana: produção, comércio e participação brasileira. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 33, n. 10, p. 15-27, out. 2007. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php>. Acesso em: 03 jan. 2008.

GARCIA, R.V. **Sistema radicular de bananeira irrigada por aspersão convencional e microaspersão no Projeto Jaíba - MG**. 2000. 47 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

GARDNER, W.R. Dynamic aspects of water availability to plants. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 89, p. 63–73, 1960.

GLEICK, P.H. **How much water is there and whose is it?:** In: The world's water, 2000-2001. The biennial report on freshwater resources. Washington: Island Press, 2000.p. 19 – 38.

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, p. 127-130, 1985.

GREEN, S.R.; KIRKHAM, M.B.; CLOTHIER, B.E. Root uptake and transpiration: from measurements and models to sustainable irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 86, n. 3, p. 165–176, 2006.

GREGORY, P.J. Development and growth of root systems. In: GREGORY, P.J.; LAKE, J.V.; ROSE, D.A. **Root development and function**. New York: Cambridge University Press, 1987. p. 146-166.

HEIMOVAARA, T.J.; HUISMAN, J.A.; VRUGT, J.A.; BOUTEN, W. Obtaining the spatial distribution of water content along a TDR probe using the SCEM-UA bayesian inverse modeling scheme. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 3, p. 128–145, 2004.

HENDRICKX, J.M.H.; WIERENGA, P.L. Variability of soil water tension in a trickle irrigated field. **Irrigation Science**, Berlin, v. 11, p. 23-30, 1990.

HORST, M.G.; SHAMUTALOV, S.S.; GONÇALVES, J.M.; PEREIRA, L.S. Assessing impacts of surge-flow irrigation on water saving and productivity of cotton. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 87, p. 115-127, 2007

HOWELL T.A. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, p. 281–289, 2001.

_____. **Irrigation efficiency**. New York: Irrigation efficiency. In: B. A. Stewart and T. A. Howell (eds.) p. 467-472. 2003. (Encyclopedia of Water Science, nº 1)

_____. Addressing the world water crisis. **American Society of Agricultural and Biological Engineers Resource Magazine** v. 15, nº 3, p.5-8. 2008.

HSIAO, T.C.; STEDUTO, A.E.; FERERES, P.; ELIAS A.E. A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. **Irrigation Science**, Berlin, v. 25, p. 209–231, 2007.

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, p. 117-126, 1994.

INTERNATIONAL WATER MANAGEMENT INSTITUTE. **World water and climate atlas**. 2000. Disponível em: <<http://www.iwmi.cgiar.org/Watlas/atlas.htm>>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2009.

KANBER, R.; KOKSAL, H.; ONDER, S.; EVLEN, L.M. Effects of different irrigation methods on yield, evapotranspiration and root development of young orange trees. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 20, n. 2, p. 163-172, 1996.

KOUMANOV, K.S. **Investigations on micro-irrigation of peach**. 1994. 154 p. Thesis (PhD) - Fruit-Growing Research Institute, Plovdiv, 1994.

KOUMANOV, K.S.; HOPMANS, J.W.; SCHWANKL, L.J.; ANDREU, L.; TULI, A. Application efficiency of micro-sprinkler irrigation of almond trees. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 34, p. 247-263, 1997.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: Editora UFV, 2006. v. 1, 318 p.

MANTOVANI, E.V.; RAMOS, M.M. Manejo da irrigação. In: COSTA, E.F; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A. (Ed.). **Quimigação**. Brasília, EMBRAPA, 1994. p. 129-158.

MATOS, J.A. Avaliação da distribuição de água de um microaspersor autocompensante. **Irriga**, Botucatu, v. 4, n. 3, p. 168-174, 1999.

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, p. 119-113, 1993.

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

MOLZ, F.J.; REMSON, I. Extraction term models of soil moisture use by transpiring plants. **Water Resources Research**, Illinois, US, v. 6, p. 346–356, 1970.

MONTENEGRO, A.A.T.; GONDIM, R.S.; BEZERRA, M.A.; COSTA, C.A.G.; SABINO, K.V. Distribuição do sistema radicular da bananeira na microrregião do baixo Jaguaribe, Ceará. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2004, **Anais...** Florianópolis.-SC. 2004.

NADLER, A.; RAVEH, E.; YERMIYAHU, U.; GREEN, S.R. **Evaluation of TDR use to monitor water content in stem of lemon trees and soil and their response to water stress.** **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, p. 437–448, 2003.

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 laranjeira ‘Pêra’. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 19, n. 1, p. 117-131, 1998.

OLIVEIRA, S.L. **A cultura da banana: aspectos técnicos socio-economicos e agroindustriais.** Brasília: Embrapa Produção e Informação, p 317-334, 1997.

PEDO, F. **Rendimento e distribuição de raízes de seis espécies de plantas em dois níveis de compactação do solo.** 1986. 92 p. Dissertação (Mestrado em Solos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

PHILIP, J.R. The physical principles of soil water movement during the irrigation cycle. In: Proceedings of the Third Congress on International Irrigation Drainage, 3, New Delhi, p. 125-154. 1957.

PLAYÁN, E.; SALVADOR, R.; FACI, J.M.; ZAPATA, N.; MARTINEZ-COB, A.; SÁNCHEZ, I. Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 76, p. 139–159, 2005.

POSSÍDIO, E.L. **Demanda de água em bananeira.** Petrolina: EMBRAPA, CPTSA, 1984. 36 p. (Documentos, 22).

POST, S.; PECH, D.E.; BRUNDLER, R.A.; SAKOVICH, N.J.; WADDLE, L. Evaluation of non-overlapping, low-flow sprinklers. In: INTERNATIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3., 1985, Fresno, 1985. p. 294-305.

- RAMOS, C.M.C. **Distribuição do sistema radicular e consumo de água da bananeira irrigada por microaspersão.** 2001. 62 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- ROGERS, D.H.; LAMM, F.R.; ALAM, M.; TROOIEN, T.P.; CLARK, G.A.; BARNES, P.L.; MANKIN, K. **Efficiencies and water losses of irrigation systems.** Manhattan: Kansas State University, 1997. Research and Extension Engineers, Irrigation Management Series, 1997.97p.
- SANTOS, D.B. **Extração de água pelo limão 'Tahiti' com porta enxerto Citrumelo 'Swingle' sob microaspersão nas condições semi-áridas da Bahia.** 2002. 112 p. 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, PB, v. 9, n. 3, p. 327-333, 2005.
- SILVA, A.J.P.; COELHO, E.F.; SANTOS, M.R. Avaliação de sondas de TDR para medida da condutividade elétrica aparente e da umidade. In: XV CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, **Anais...** Teresina, PI, 2005.
- SIMÕES, W.L. **Influência de diferentes sistemas de microaspersão na distribuição de água no solo e nas respostas morfofisiológicas do Citrus latifolia Tanaka sobre o porta-enxerto Citrus limonia.** 2007. 127 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- SHIKLOMANOV, I.A. Appraisal and assessment of world water resources. **Journal Water International**, Guyancourt, v. 25, n. 1, p. 11–32, 2000.
- SMITH, R.J.; RAINE, S.R.; MINKEVICH, J. Irrigation application efficiency and deep drainage potential under surface irrigated cotton. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 76, p. 117–130, 2005.
- SOPHOCLEOUS, M. Global and regional water availability and demand: prospects for the future. **Natural Resources Research**, Paris, v. 13, n. 2, p. 61-75, June 2004.
- STEVENS, R.M.; DOUGLAS, T. Distribution of grapevine roots and salt underdrip and full-ground cover microjet irrigation systems. **Irrigation Science**, Berlin, v. 15, p. 147-152, 1994.
- TEIXEIRA, A.H.C.; BASSOI, L.H.; COSTA, W.P.L.B.; SILVA, J.A.M. e; SILVA, E.E.G. Consumo hídrico da bananeira no Vale do São Francisco estimado pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 45-50, 2002.

TOEPFER, K. **Our Planet**. UNEP magazine for environmentally sustainable development, Issue on Freshwater. 1998. Disponível em: <<http://www.ourplanet.com>>. Acesso em: 15 jan. 2009.

TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A. Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, Washington, v. 16, n. 3, p. 574-582. 1980.

UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. **Global challenge, global opportunity**: trends in sustainable development. Johannesburg, 2002. 21 p.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **An overview of the state of the world's fresh and marine waters**: 2002. Disponível em: <<http://www.unep.org/vitalwater/freshwater.htm>>. Acesso em: 08 jan. 2008.

VAN GENUCHTEN, M.Th. **A numerical model for water and solute movement in and below the root zone**. Riverside: USDA,ARS, U.S. Salinity Laboratory, 1987. 221 p. (Research Report, 121).

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: ABID, 1996. p. 95-106.

VOGELER, I.S.; GREEN, A.; NADLER, A.; DUWIG, C. Measuring transient solute transport through the vadose zone using time domain reflectometry. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 39, n. 6, p. 1359-1369, 2001.

WILHELM, W.M.; MIELKE, L.N.; FENST, C.R. Root development of winter wheat as related to tillage practice in Western Nebraska. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 85-88, 1992.

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.