



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CAMPUS II**  
**COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA**



# **PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CAMPINA GRANDE  
PARAÍBA**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



**DISSERTAÇÃO**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**EXTRAÇÃO DE ÁGUA PELA CULTURA DO LIMÃO 'TAHITI'**  
**COM PORTA ENXERTO CITRUMELO 'SWINGLE' SOB**  
**MIRCOASPERSÃO NAS CONDIÇÕES SEMI-ÁRIDAS DA BAHIA**

**DELFRAN BATISTA DOS SANTOS**

**Campina Grande - Paraíba**  
**MARÇO - 2002**

**DELFRAN BATISTA DOS SANTOS**

**Engenheiro Agrônomo**

50 16 96

**EXTRAÇÃO DE ÁGUA PELA CULTURA DO LIMÃO 'TAHITI' COM PORTA  
ENXERTO CITRUMELO 'SWINGLE' SOB MICROASPERSÃO NAS CONDIÇÕES  
SEMI-ÁRIDAS DA BAHIA**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Irrigação e Drenagem, do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências do curso para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

**CAMPINA GRANDE**

Estado da Paraíba

Março - 2002



## FICHA CATALOGRÁFICA

S 237 e

Santos, Delfran Batista dos

Extração de água pela cultura do limão 'Tahiti' com porta enxerto citrumelo 'Swingle' sob microaspersão nas condições semi-áridas da Bahia / Delfran Batista dos Santos. Campina Grande: UFPB, 2002.

112 p. : il.

Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Centro de Ciências e Tecnologia – Universidade Federal da Paraíba.

1. Manejo – irrigação 2. Distribuição de raízes 3. Extração de água – raízes 4. Manejo – sensores 5. Água – solo. I. Título.

CDU 631.675

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

DELFRAN BATISTA DOS SANTOS

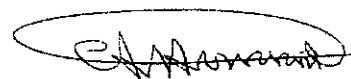
Título: "Extração de Água pela Cultura do Limão 'Tahiti' com Porta Enxerto Citrumelo 'Swingle' sob Microaspersão nas Condições Semi-áridas da Bahia".

BANCA EXAMINADORA

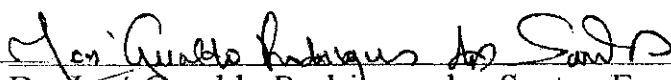
PARECER

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Eugênio Ferreira Coelho-Orientador

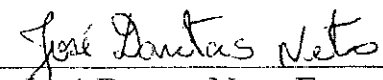
APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo-Orientador

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Geraldo Rodrigues dos Santos-Examinador

APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Dantas Neto-Examinador

APROVADO

MARÇO - 2002

*Aos meus pais,*

*Domingos Bispo dos Santos e Ester Batista dos Santos,*

*Pelo exemplo de vida, amor e educação que me deram,*

**MEU AGRADECIMENTO.**

*Aos meus irmãos,*

*Maria José, Darlan, Diene, Dayse e Delclânio,*

*pela amizade e incentivo,*

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado a vida.

Ao Dr. Eugênio Ferreira Coelho, pela orientação, aprendizado, confiança e apoio que me foi concedido durante o desenvolvimento de todo o trabalho.

A Universidade Federal da Paraíba pela oportunidade de participar do curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao PADCT III/FINEP, pelo financiamento do projeto “Manejo de água e nutrientes em fruteiras.” que deu suporte financeiro a minha pesquisa.

Ao Professor Carlos Alberto Vieira de Azevedo, pela orientação, e por viabilizar a parceria UFPB/Embrapa Mandioca e Fruticultura.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFPB, pela recepção, amizade e pela transmissão dos valiosos conhecimentos durante a realização do curso.

A Embrapa Mandioca e Fruticultura, pelo apoio e estrutura física para o desenvolvimento das atividades.

A Empresa Iaçú Agropastoril Ltda. pelo apoio na realização do experimento.

Aos colegas de curso, em especial Juracy, Jonas, Beto, Germana, Ana Maria, Alexandre, Célio, Wagner, Florício, Lovânia, Celso, Aristóteles, Zé Maria, Paulo César pelo convívio e amizade.

Ao professor Dr. Francisco Adriano da Universidade Federal da Bahia, pela amizade, contribuição e orientação para a realização do estágio de docência.

Aos funcionários Roque e Val do Laboratório de Física do Solo da Embrapa Mandioca e Fruticultura, pela ajuda nas análises efetivadas.

Aos companheiros da equipe técnica de Irrigação: Icaro, Tacísio, Zé Carlos, Décio e Julival pelo apoio na execução do experimento.

Aos estudantes de Agronomia da Universidade Federal da Bahia: Tibério, Daniela e Juliana, pela colaboração e apoio durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao amigo Cosme pela amizade, apoio e incentivo nas horas difíceis e de descontração.

Aos companheiros do alojamento 'Hospital' da UFBA, pela amizade e incentivo.

A dona Rivonilda e minha tia Diône e pelo carinho, atenção e amizade.

A todas as pessoas que diretamente ou indiretamente, de alguma forma contribuíram para realização desse trabalho.



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	X
<b>LISTA DE TABELAS</b>	XV
<b>ANEXOS</b>	XVI
<b>RESUMO</b>	XVII
<b>ABSTRACT</b>	XIX
<b>1.0- INTRODUÇÃO</b>	21
<b>2.0- REVISÃO DE LITERATURA</b>	24
2.1 – A cultura da lima ácida sob irrigação	24
2.1.1– <i>Uso da água pela cultura</i>	25
2.2 – Distribuição espacial do sistema radicular	25
2.3 – Disponibilidade e extração de água pelo sistema radicular	28
2.4 – Distribuição de água do solo	29
2.5 – Sensores de água do solo para monitoramento de irrigação	30
<b>3.0 – MATERIAL E MÉTODOS</b>	32
3.1 – Localização e caracterização da área experimental	32
3.1.1 – <i>Caracterização físico-hídrica</i>	33
3.2 – Construção e calibração dos sensores de umidade	33
3.3 – Instalação do sistema de coleta de dados	38
3.4 – Manejo e monitoramento de água no solo	38
3.4.1 – <i>Distribuição superficial da lâmina de água aplicada</i>	40
3.4.2 – <i>Distribuição subsuperficial da água no solo</i>	41
3.5 – Coleta de amostra do sistema radicular	43
3.6 – Processamento das raízes	44
<b>4.0 – RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	47
4.1 – Distribuição de água no solo	47
4.2 – Distribuição do sistema radicular	64
4.3 – Estimativa da extração de água do solo pelas raízes	78
4.4 – Aplicações práticas	85

<i>4.4.1 – Profundidade e distância efetiva do sistema radicular</i>	85
<i>4.4.2 – Escolha de emissores</i>	86
<i>4.4.3 – Posicionamento de sensores de água do solo</i>	87
<i>4.4.4 – Tratos culturais e aplicação de fertilizantes</i>	91
<b>5.0 – CONCLUSÕES</b>	92
<b>6.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	94
<b>7.0 – ANEXOS</b>	102

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Valores diários da precipitação e evapotranspiração potencial de Penman modificado - FAO 24 (Doorembos & Pruitt, 1977) estimados por meio de uma estação agrometeorológica automática.
- Figura 2 Representação da faixa disponível do teor de água do solo.
- Figura 3 Conjunto tubo – sonda – solo – tela , utilizado na calibração do solo com a TDR.
- Figura 4 Curva obtida pelo ajuste dos dados de umidade em função da constante dielétrica estimada na TDR, para guias de onda com capacitor.
- Figura 5 Curva obtida pelo ajuste dos dados de umidade em função da constante dielétrica estimada na TDR, para guias de onda sem capacitor.
- Figura 6 Posição das trincheiras no experimento em relação as plantas.
- Figura 7 Cobertura da área molhada pelo microaspersor para evitar a evaporação.
- Figura 8 Ensaio da distribuição superficial de água pelo emissor.
- Figura 9 Monitoramento da água no perfil do solo por meio de sondas de TDR
- Figura 10 Detalhe das trincheiras no perfil ortogonal e longitudinal a fileira de plantas.
- Figura 11 Imagem digital de raízes do citrumelo ‘Swingle’ em formato TIFF (“Tagged Image File Format”) após escaneamento.
- Figura 12 Distribuição de água na superfície do solo referente a frequência de irrigação de um dia, no sentido longitudinal a fileira de plantas (a) e sentido ortogonal a fileira de plantas (b).
- Figura 13 Distribuição do teor de umidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ) no perfil do solo longitudinal a fileira de plantas referente a frequência de irrigação de um dia; imediatamente antes da irrigação (a), e uma hora após a irrigação (b).
- Figura 14 Distribuição o teor de umidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ) no perfil do solo ortogonal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de um dia, imediatamente antes da irrigação (a), e uma hora após a irrigação (b).

- Figura 15 Isolinhas do teor de água disponível em percentagem, no perfil do solo longitudinal à fileira de plantas, referente à frequência de irrigação de um dia, imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).
- Figura 16 Isolinhas do teor de água disponível, em percentagem, no perfil do solo ortogonal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de um dia, imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).
- Figura 17 Distribuição de água na superfície do solo referente a frequência de irrigação de dois dias, no sentido longitudinal (a) e ortogonal (b) a fileira de plantas.
- Figura 18 Distribuição do teor de umidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ) no perfil do solo, longitudinal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de dois dias, imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).
- Figura 19 Distribuição o teor de umidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ) no perfil do solo, ortogonal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de dois dias, imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).
- Figura 20 Isolinhas do teor de água disponível em percentagem, no perfil do solo longitudinal à fileira de plantas, referente à frequência de irrigação de dois dias,; imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).
- Figura 21 Isolinhas do teor de água disponível em percentagem, no perfil do solo ortogonal à fileira de plantas, referente à frequência de irrigação de dois dias, imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).
- Figura 22 Distribuição de água na superfície do solo, referente a frequência de irrigação de três dias, no sentido longitudinal (a) e ortogonal (b) a fileira de plantas.
- Figura 23 Distribuição do teor de umidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ) no perfil do solo longitudinal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de três dias, imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).
- Figura 24 Distribuição o teor de umidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ ) no perfil do solo ortogonal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de três dias, imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).

- Figura 25 Isolinhas do teor de água disponível em percentagem, no perfil do solo longitudinal referente a freqüência de irrigação de três dias, imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).
- Figura 26 Isolinhas do teor de água disponível em percentagem, no perfil do solo ortogonal referente a freqüência de irrigação de três dias, imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).
- Figura 27 Distribuição da densidade de comprimento de raízes – DCR ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) nos perfis do solo referentes a freqüência de irrigação de um dia, nas direções longitudinal (a) e ortogonal (b) a fileira de plantas.
- Figura 28 Percentagem de comprimento de raízes de diferentes diâmetros relativo ao comprimento total de raízes em dois perfis (ortogonal e longitudinal a fileira de plantas) para freqüência de irrigação de um dia, tendo a planta na posição (0, 0, 0).
- Figura 29 Distribuição de raízes do citrumelo ‘Swingle’ sob lima ácida ‘Tahiti’ no sentido ortogonal, referente a freqüência de irrigação de um dia, na distância horizontal em relação a planta (a) e na profundidade do perfil do solo (b).
- Figura 30 Distribuição de raízes do citrumelo ‘Swingle’ sob lima ácida ‘Tahiti’ no sentido longitudinal, referente a freqüência de irrigação de um dia, na distância horizontal em relação a planta (a) e na profundidade do perfil do solo (b).
- Figura 31 Distribuição da densidade de comprimento de raízes – DCR ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) nos perfis do solo referentes a freqüência de irrigação de dois dias, na direção longitudinal (a) e ortogonal (b) a fileira de plantas.
- Figura 32 Percentagem de comprimento de raízes de diferentes diâmetros relativo ao comprimento total de raízes em dois perfis (ortogonal e longitudinal a fileira de plantas) para freqüência de irrigação de dois dias, tendo a planta na posição (0, 0, 0).
- Figura 33 Distribuição de raízes do citrumelo ‘Swingle’ sob lima ácida ‘Tahiti’ no sentido ortogonal, referente a freqüência de irrigação de dois dias, na distância horizontal em relação a planta (a) e na profundidade do perfil do solo (b).

- Figura 34 Distribuição de raízes do citrumelo ‘Swingle’ sob lima ácida ‘Tahiti’ no sentido longitudinal, referente a frequência de irrigação de dois dias, na distância horizontal em relação a planta (a) e na profundidade do perfil do solo (b).
- Figura 35 Distribuição da densidade de comprimento de raízes – DCR ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) nos perfis do solo, referentes a frequência de irrigação de três dias, nas direções longitudinal (a) e ortogonal (b) a fileira de plantas.
- Figura 36 Percentagem de comprimento de raízes de diferentes diâmetros relativo ao comprimento total de raízes em dois perfis (ortogonal e longitudinal a fileira de plantas) para frequência de irrigação de três dias, tendo a planta na posição (0, 0, 0).
- Figura 37 Distribuição de raízes do citrumelo ‘Swingle’ sob lima ácida ‘Tahiti’ no sentido ortogonal, referente a frequência de irrigação de três dias, na distância horizontal em relação a planta (a) e na profundidade do perfil do solo (b).
- Figura 38 Distribuição de raízes do citrumelo ‘Swingle’ sob lima ácida ‘Tahiti’ no sentido longitudinal, referente a frequência de irrigação de três dias, na distância horizontal em relação a planta (a) e na profundidade do perfil do solo (b).
- Figura 39 Representação da variação do teor de umidade no perfil do solo para os intervalos entre as leituras, na profundidade de 1,2 metro nas posições de 0,25; 0,5; 1; 2 metros de distância horizontal em relação a planta, nos perfis longitudinal (a) e ortogonal (b) a fileira de plantas.
- Figura 40 Estimativa da extração de água do solo pelo sistema radicular da cultura – ESR – ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), referente a frequência de irrigação de um dia, nas direções longitudinal (a) e ortogonal (b) à fileira de plantas.
- Figura 41 Estimativa da extração de água do solo pelo sistema radicular da cultura – ESR – ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), referente a frequência de irrigação de dois dias, nas direções longitudinal (a) e ortogonal (b) à fileira de plantas.

- Figura 42 Estimativa da extração de água do solo pelo sistema radicular da cultura – ESR – ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), referente a frequência de irrigação de três dias, nas direções longitudinal (a) e ortogonal (b) a fileira de plantas.
- Figura 43 Extração total de água pelo sistema radicular no perfil longitudinal a fileira de plantas referente a frequência de irrigação de um dia, em relação a distância horizontal em relação a planta (a) e profundidade do perfil do solo (b).
- Figura 44 Extração total de água pelo sistema radicular no perfil ortogonal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de um dia, em relação a distância horizontal em relação a planta (a) e profundidade do perfil do solo (b).
- Figura 45 Extração total de água pelo sistema radicular no perfil longitudinal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de dois dias, em relação a distância horizontal em relação a planta (a) e profundidade do perfil do solo (b).
- Figura 46 Extração total de água pelo sistema radicular no perfil ortogonal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de dois dias, em relação a distância horizontal em relação a planta (a) e profundidade do perfil do solo (b).
- Figura 47 Extração total de água pelo sistema radicular no perfil longitudinal a fileira de plantas, referente a frequência, de irrigação de três dias, em relação a distância horizontal em relação a planta (a) e profundidade do perfil do solo (b).
- Figura 48 Extração total de água pelo sistema radicular no perfil ortogonal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de três dias em relação a distância horizontal em relação a planta (a) e profundidade do perfil do solo (b).

**LISTA DE TABELAS**

- Tabela 1 Características físico-hídricas da área experimental
- Tabela 2 Classe de diâmetros de raízes



## ANEXOS

- Anexo 1 Curva característica de água no solo para as profundidades de 0,25; 0,5; 0,75 e 1 m, para as frequências de irrigação de um, dois e três dias.
- Anexo 2 Parâmetros de ajuste de van Genuchten para as curvas características de água no solo nas profundidades de 0,25; 0,5; 0,75 e 1 m, para as frequências de irrigação de um, dois e três dias.
- Anexo 3 Programa em linguagem Quick Basic 4.5, utilizado no manejo das irrigações.
- Anexo 4 Programa em linguagem Quick Basic utilizado para obter a uma determinada posição do perfil a soma total dos comprimentos das raízes e separar os valores em seis classes diferentes de diâmetros (Coelho et al., 2001).

**EXTRAÇÃO DE ÁGUA PELO LIMÃO 'TAHITI' COM PORTA ENXERTO  
CITRUMELO 'SWINGLE' SOB MICROASPERSÃO NAS CONDIÇÕES SEMI-  
ÁRIDAS DA BAHIA**

AUTOR: Delfran Batista dos Santos

ORIENTADORES: Eugênio Ferreira Coelho

Carlos Alberto Vieira de Azevedo

**RESUMO**

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a distribuição de água no volume molhado do solo gerado pela microaspersão para diferentes frequências de irrigação dando ênfase a extração de água pelo sistema radicular do citrumelo 'Swingle' sob a lima ácida 'Tahiti', visando avaliar a área potencial de absorção das raízes no perfil do solo. O trabalho foi realizado na fazenda Boa Vista localizada no município de Iaçu – Ba, num experimento onde se avaliou três frequências de irrigação 1, 2 e 3 dias e cinco lâminas de água, fixando-se a lâmina de irrigação e variando-se a frequência. O teor de água no solo foi monitorado usando sondas de TDR, cujas disposições no perfil do solo no sentido longitudinal a fileira de plantas foi: 0,15; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; 1,5 e 2,0 m de distância horizontal da planta, e de 0,15; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0 e 1,2 m de profundidade no perfil do solo. No

sentido ortogonal a fileira de plantas utilizou-se as mesmas posições, com acréscimo da posição horizontal a fileira de plantas de 2,5 m. A coleta de amostras de solo-raíz foi feita nas mesmas posições onde estavam inseridas as guias de onda de TDR a fim de avaliar a distribuição radicular. Em função dos resultados verificou-se que: (i) o porta enxerto citrumelo 'Swingle' sob lima ácida 'Tahiti', consegue extrair água do solo a níveis baixos de água disponível que correspondem as umidades que se encontram entre 0,10 e 0,11  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ; (ii) a medida que aumenta o intervalo entre um evento de irrigação e outro, aumenta também abrangência da área potencial de extração de água do solo pelas raízes; (iii) as raízes do porta enxerto citrumelo 'Swingle' sob lima ácida 'Tahiti' de diâmetro entre 0,5-2 mm, são as maiores responsáveis pela extração de água do solo; (iv) a profundidade efetiva de extração de água do solo pelas raízes (PEe) e a distância efetiva de extração de água do solo pelas raízes (DEe) são parâmetros mais adequados para definir o manejo da irrigação, a partir do posicionamento dos sensores para monitoramento da umidade do solo quando comparados com os parâmetros tradicionais, profundidade efetiva das raízes (Pe) e distância efetiva das raízes (De); (v) sugere-se que sejam instalados longitudinalmente a fileira de plantas os sensores de medição do conteúdo de água no solo a uma distancia de 0,4 m a partir da planta, para frequência de irrigação de até dois dias e a 0,75 m para frequência de três dias. A profundidade deve ser de 0,5 m a partir da superfície do solo; (vi) sugere-se que sejam instalados ortogonalmente a fileira de plantas os sensores de medição do conteúdo de água no solo a uma distancia de 0,5 m a partir da planta, para as frequências de irrigação de dois e três dias até a profundidade de 0,75 m a partir da superfície do solo, enquanto que para a frequência de irrigação de um dia, a profundidade recomendada para instalação dos sensores é até 0,9 m e a distância a partir da planta de 0,25 m.

**WATER UPTAKE BY 'TAHITI' LEMON OVER CITRUMELO 'SWINGLE' AS  
ROOTSTOCK UNDER MICROSPRINKLER IN THE SEMI-ARID CONDITIONS OF  
BAHIA**

**AUTHOR: Delfran Batista dos Santos**

**ADVISERS: Eugênio Ferreira Coelho**

**Carlos Alberto Vieira de Azevedo**

**ABSTRACT**

The present work had as objective to evaluate water distribution in the soil wetted volume generated by a sprayer for different irrigation frequencies. It emphasizes water uptake from root system of citrumelo 'Swingle' under 'Tahiti' lemon, and seeks to evaluate the potential area of uptake by roots in the soil profile. The work was accomplished in the Boa Vista farm in Iaçú-Ba Brasil, where it has been tested three frequencies of irrigation: 1, 2 and 3 days. Soil water content was monitored using TDR wave guides, whose dispositions in the soil profile longitudinal to plant row were: 0,15; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; 1,5 and 2,0 m of horizontal distance from plant, and 0,15; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0 and 1,2 m of depth in the

soil profile. In ortogonal profile to plant row, the same positions were used adding the horizontal distance of 2,5 m from plant row. Root sampling work was done in the same positions where TDR waveguides were inserted. Results showed that : (i) citrumelo 'Swingle' rootstock under 'Tahiti' lemon extracts water of soil at low levels of water availability corresponding to soil water content of 0,10 to 0,11  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ; (ii) the larger the irrigation the larger the potential zones in the soil profile for water uptake; (iii) root diameters among 0,5-2 mm, are the largest responsible for soil water extraction; (iv) the effective depth of water uptake by roots (PEe) and the effective distance from plant of water uptake (DEe) are more appropriate parameters to define soil sensor placement when compared to the traditional parameters: effective depth of roots (Pe) and effective distance of roots (De); (v) in the longitudinal direction to plant row, soil water sensors should be installed at depth of 0 - 0,5 m. In this direction, they should be installed at horizontal distances of 0,4 m from plant in case of irrigation frequencies less or equal than 2 days and at horizontal distances of 0,75 m for irrigation frequencies of of 3 days; (vi) It is recommended that in the ortogonal direction to plant row, sensors should be located at depths from soil surface to 0,75 m for irrigation frequencies of 2 and 3 days and at horizontal distances from plant equal or less than 0,5 m. Sensors should be located at horizontal distances from plant to 0,25 m and at depths from soil surface to 0,9 m for irrigation frequency of 1 day.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil a cultura da lima ácida ‘Tahiti’ é uma das espécies cítricas de maior importância comercial, estimando-se que sua área plantada atualmente ultrapasse 40 mil hectares. O estado de São Paulo é o primeiro produtor nacional de limão contribuindo com aproximadamente 80% do total. O estado da Bahia é o maior produtor de limão do Nordeste, com uma área plantada de 2.634 hectares em 2000 (FNP, 2002). Sendo que do total da área plantada com a cultura do limão no estado da Bahia cerca de 27% está ocupada com limoeiro ‘Tahiti’ em regime irrigado (Coelho, 2002)<sup>1</sup>.

A demanda crescente pelos recursos hídricos acentua cada vez mais a necessidade de seu manejo rigoroso e racional, de modo a assegurar a integridade, a produtividade, a diversidade e a vitalidade dos sistemas aquáticos e de suas bacias hidrográficas (Bucks, 1995). A irrigação localizada oferece oportunidades para o atendimento dessas necessidades, proporcionando uma maior eficiência no uso da água pela cultura, além de permitir a aplicação simultânea de fertilizantes, possibilitando, assim, a utilização mais racional desses fertilizantes, quando comparada com as formas tradicionais.

A irrigação tem sido uma das práticas mais utilizadas na agricultura moderna, com o objetivo de aumentar a produção agrícola, mas com o uso cada vez mais competitivo da água e o agravamento da crise energética vivida pelo Brasil atualmente, faz-se necessário a utilização de práticas de manejo de irrigação cada vez mais racional, com a finalidade de maximizar a produção e diminuir os desperdícios com a água. Assim, a cada dia, estão sendo desenvolvidos e utilizados novos equipamentos para o monitoramento da água do solo, tais como a TDR –

---

<sup>1</sup> COELHO, Y. da S. (Embrapa Mandioca e Fruticultura) comunicação pessoal, 2002.

Reflectometria no Domínio do Tempo, sonda de capacitância, que, dentre outras, tem a vantagem de estimar o conteúdo de água do solo em tempo real, possibilitando assim um manejo mais preciso na reposição de água do solo para satisfazer as necessidades da cultura.

A localização de onde deverão ser instalados os sensores de água do solo com a finalidade de manejar adequadamente o sistema de irrigação é de grande importância quando levamos em conta a possibilidade de reduzir os gastos com água e energia, além de contribuir na manutenção dos recursos naturais.

Os cálculos envolvidos no manejo de irrigação ou elaboração de projetos levam em conta parâmetros relacionados tanto ao emissor como ao sistema água-solo-planta. No caso da escolha dos emissores, tem-se que levar em conta a vazão, a lâmina média aplicada, a área molhada pelo emissor e a qualidade da água que será utilizada na irrigação. As características físico-hídricas do solo também são de fundamental importância, pois, dentre outras coisas, permite conhecer a quantidade de água a ser armazenada em cada camada do perfil do solo, como também a velocidade com que a água se infiltra no solo. Outro parâmetro utilizado nos cálculos e no monitoramento da irrigação é o conhecimento da profundidade efetiva do sistema radicular (Bernardo, 1982), que é usado nos cálculos da lâmina bruta de água a ser aplicada ao solo. Tal parâmetro, se superestimado pode comprometer o manejo de irrigação visto que a lâmina total ou bruta necessária será superestimada, causando perdas de água no solo e resultando num manejo ineficiente. Assim, o conhecimento da área de extração efetiva de água do solo pelo sistema radicular da cultura é uma variável que precisa ser utilizada no monitoramento da irrigação, pois permite estabelecer, com maior precisão, a lâmina bruta de água que deverá ser aplicada, a localização adequada para instalação dos sensores para monitoramento da água do solo e a localização adequada para aplicação de fertilizantes via solo.

O presente trabalho tem por objetivo geral avaliar a distribuição de água no volume molhado do solo gerado pela microaspersão para diferentes frequências de irrigação dando ênfase a extração de água pelo sistema radicular do citrumelo 'Swingle' sob o limoeiro 'Tahiti', visando avaliar a área potencial de absorção das raízes no perfil do solo. Como objetivos específicos tem-se:

- a) verificar a distribuição do sistema radicular do citrumelo 'Swingle' sob lima ácida 'Tahiti' sob microaspersão para diferentes frequências de irrigação;
- b) avaliar a distribuição de diâmetros das raízes do citrumelo 'Swingle' sob lima ácida 'Tahiti' no volume molhado do solo para diferentes frequências de irrigação;
- c) verificar a faixa de água disponível na qual as raízes do citrumelo 'Swingle' sob lima ácida 'Tahiti' podem extrair água do solo;
- d) definir os locais do volume molhado gerado pela microaspersão em citrumelo 'Swingle' sob lima ácida 'Tahiti' mais indicados para instalação dos sensores para monitoramento da irrigação.



## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 A cultura da lima ácida sob irrigação**

A cultura da lima ácida ‘Tahiti’ ( *Citrus latifolia* Tanaka) é uma das principais opções da agricultura irrigada brasileira, tanto pela possibilidade de produzir fora da safra convencional, propiciando melhores preços no mercado consumidor, como pela elevada produtividade e qualidade do produto (Vieira & Gomes, 1999). De acordo Coelho (1993) a lima ácida ‘Tahiti’ é um fruto de origem tropical e no Brasil a fruta se destaca como um dos frutos cítricos de maior importância comercial.

Atualmente, a produção anual brasileira de limão ultrapassa 700 toneladas, para uma área colhida de aproximadamente 46.500 hectares, sendo o estado de São Paulo o que aparece como principal produtor, com uma contribuição superior a 80% da produção total do país, a Bahia aparece em terceiro lugar no ranking da produção , com uma área colhida superior a 2.000 hectares, os países baixos são os maiores importadores da fruta (FNP, 2002).

Os frutos do limoeiro ácido ‘Tahiti’ alcança um máximo de taxa de crescimento com temperatura entre 25 a 31 °C, com umidade relativa entre 70 e 80%. Embora possa se adaptar a vários tipos de solos, os mais adequados são os leves, bem arejados, profundos e sem impedimentos para o desenvolvimento das raízes e com pH do solo em torno de 5,5 a 6,5 (Seagri-Ba, 2002).

### **2.1.1 Uso da água pela cultura**

Em muitas áreas produtoras de citros no mundo, a irrigação suplementar é requerida com a finalidade de maximizar a produção ( Syvertsen & Lloyd, 1994). No Brasil, a irrigação é um componente recente do processo produtivo nos pomares de citros. Alguns métodos de irrigação vem sendo usados pelos produtores, tais como, a irrigação por superfície (sulcos) e a aspersão, porém o método mais comum hoje adotado pelos produtores é a irrigação localizada, principalmente a microaspersão, onde os microaspersores podem ser dispostos próximos a planta ou entre as plantas na fileira da cultura. A microaspersão aparentemente assegura maior área molhada ao solo, principalmente em terrenos arenosos, mas o gotejamento, dependendo do número de emissores pode promover área molhada semelhante a da microaspersão (Coelho et al., 2000).

As árvores de citros estão sempre verdes e, por conseguinte, transpiram durante todo ano. As necessidades hídricas para se obter alta produção variam com o clima, com a cobertura do terreno, com o controle de ervas daninhas e ainda com a espécie e o porta-enxerto (Doorenbos & Kassam, 1994). Os frutos do limoeiro ‘Tahiti’ alcançam máxima taxa de crescimento com chuvas de 1.000 a 2.000 mm, bem distribuídos e com média 120 mm mensais ( Seagri-Ba, 2002). De acordo Syvertsen & Lloyd (1994), o excesso de água no solo, causa redução na taxa de crescimento do limão após oito dias do início do encharcamento.

### **2.2 Distribuição espacial do sistema radicular**

O sistema radicular das culturas desempenha importante papel nos estudos das interações que ocorrem entre o solo, as plantas e os organismos vivos, uma vez que o conhecimento da sua distribuição permite o uso mais racional de práticas de cultivo, tais como manejo e adubação do solo, além de constituir uma relevante ferramenta para elaboração de um projeto de irrigação, bem como elemento essencial para qualquer plano de manejo de irrigação ( Coelho et al., 2001).

Existem diferentes métodos para analisar a distribuição do sistema radicular no perfil do solo. Bohm (1979) relacionou alguns: a) escavações, b) monólitos, c) perfurações com trado, d) trincheiras, e) parede de vidro, f) avaliação indireta, g) planta em vasos, h) elemento

marcado, entre outros. Recentemente, métodos referentes a filmagem ou fotografia vem sendo usados na coleta de raízes no campo, ou seja, a partir de uma trincheira, as imagens de raízes são coletadas por câmara fotográfica ou de vídeo para serem posteriormente digitalizadas em computador (Box, 1996; Crestana et al., 1994).

O método monolítico, consiste na retirada de blocos de solo com raízes, dividindo-os em dimensões definidas e posterior lavagem para separação das mesmas. Este método proporciona medidas quantitativas (massa e comprimento) das raízes que são apresentadas por gráficos. Trata-se de um método fácil e não muito trabalhoso. Pela precisão dos dados obtidos, este método tem sido usado para comparar a eficiência de outros métodos mais simplificados (Bohm, 1979).

Entre os fatores que mais influem no desenvolvimento do sistema radicular de uma planta, destacam-se a umidade, a aeração e a riqueza em elementos minerais (Inforzato, 1957).

A profundidade efetiva do sistema radicular da cultura ( $P_e$ ) foi definida por Bernardo (1982), como a profundidade do perfil do solo onde se encontra, pelo menos, 80% do total do sistema radicular. Utilizando critério semelhante, Vieira (1996), determinou que a distância efetiva das raízes ( $D_e$ ) sendo aquela em que se concentra 80% do seu sistema radicular a partir do tronco da planta.

Sobre a determinação da profundidade efetiva do sistema radicular, Dourado Neto & Lopes (1987) relataram que é de fundamental importância a determinação dessa profundidade em diferentes períodos de crescimento de uma cultura para avaliação de projetos de irrigação. Machado & Coelho (2000), estudando a distribuição do sistema radicular do limão 'Cravo' sob lima ácida 'Tahiti', concluíram que a profundidade efetiva ( $P_e$ ), na linha de plantio, foi de 0,4m pelo método da variação do conteúdo de água no solo. Com relação a distribuição das raízes na horizontal, a distância efetiva ( $D_e$ ) foi de 2,25m do tronco, porém, como as copas apresentaram tamanhos diferentes, pode se dizer que a  $D_e$  está entre 50 e 75% do raio da projeção da copa.

Na avaliação da distribuição radicular da lima ácida 'Tahiti' sobre o limoeiro 'Cravo', com três anos e meio de idade, não irrigado, Ribeiro (1993) constatou que 74,1% das radículas estavam na profundidade de 0,30 m e o restante entre 0,30 e 0,60 m, com a maior faixa de radículas entre 0,70 e 1,40 m de distância do tronco.

O sistema radicular da lima ácida 'Tahiti' sobre o limoeiro 'Cravo' de acordo Vieira & Gomes (1999), concentrou-se nas camadas mais superficiais do solo, sendo mais de 50% do volume das raízes na camada de 0-0,25 m e 80% até 0,5 m de profundidade, e a distância efetiva situou-se até 1,5 m do tronco.

Utilizando o método da trincheira Pace & Araújo (1986), estudaram a distribuição das raízes em três porta-enxertos (limoeiro 'Cravo', limoeiro 'Volkameriano' e *Poncirus trifoliata* L.) todos enxertados sob copa de laranja 'Natal' em solo podzolizados em todos os casos, os autores verificaram que a maior concentração das radículas estavam a 20 cm de profundidade e apresentavam sensível redução na zona de transição de horizontes A e B.

No Brasil, o pioneiro em estudo de sistema radicular em citros foi Montenegro (1960), ele avaliou o sistema radicular de oito porta-enxertos sob copa de três variedades de laranja, utilizando o método do trado. Segundo o autor, cerca 90% das raízes com diâmetro menor ou igual a 1,5 mm, encontrava-se nos primeiros 60 cm do solo, tendo detectado que a umidade do solo e sua composição, também, tem influência na distribuição das raízes das laranjeiras, afirmando que o solo mostrou influência não somente no vigor do raizame (peso de radículas) como também na distribuição do mesmo.

Na Califórnia, Cahoon & Stolzy (1960), estudando a distribuição das raízes em pomar de citros irrigado, encontraram uma estreita correlação entre a distribuição de raízes e a umidade do solo, em três tipos de solos estudados, tendo encontrado sempre a maior quantidade de raízes e a maior umidade do solo nas camadas superficiais, até 60 cm, enquanto que além dessa profundidade houve queda acentuada das duas variáveis.

Na Florida, Ford (1953) utilizou o método do trado e determinou a profundidade do sistema radicular de plantas de laranja 'Valência' com 29 anos de idade e verificou que as plantas apresentavam cerca de 60% de suas raízes até 0,75 m de profundidade e cerca de 90% a 1,5 m de profundidade, em solo ácido, arenoso e profundo.

### 2.3 Disponibilidade e extração de água pelo sistema radicular

A disponibilidade de água ou capacidade de água disponível para as plantas é usualmente definido como o teor de umidade compreendido entre a capacidade de campo (cc) e o ponto de murcha permanente (pmp), onde a capacidade de campo é determinada pelo conteúdo de água que permanece no solo 24 a 48 horas após saturado por uma chuva ou irrigação intensa e depois que a drenagem se faz negligível. Quando o teor de umidade do solo diminui a níveis do qual a planta não consegue retirar água na mesma intensidade que evapotranspira e assim, levando a planta a morte, diz-se que o solo se encontra em ponto de murcha permanente (Guerra, 2000). Pode ser considerado também como indicativo do ponto de murcha permanente o teor de água retido no solo sob tensão de 1,500 MPa e, para capacidade de campo o teor de água retido a 0,033 MPa para solos argilosos e 0,010 MPa para solos arenosos, ambos determinados em laboratório, conforme (Richards, 1947).

A extração de água pelo sistema radicular da cultura, dentre outros parâmetros, é dependente do teor de água disponível no perfil do solo. De acordo Coelho Filho (2001), dentre muitas variáveis que interferem no crescimento vegetal, a água pode ser considerada a principal, sendo muito importante sua manutenção em níveis não limitantes ao longo do ciclo produtivo da cultura, seja através de técnicas de conservação da água no solo ou pelo fornecimento de água por irrigação. A disponibilidade de água no solo é afetada por sua textura e estrutura, sendo a última sensível ao manejo agrônômico da área, o que afeta, conseqüentemente, a variabilidade da capacidade de retenção de água do solo.

O mapeamento das variáveis textura, densidade do solo, umidade do solo e água disponível permitem o estabelecimento de subáreas mais homogêneas, nas quais se pode realizar, de maneira mais eficiente, o manejo de água (Coelho Filho, 2001). De acordo Souza et al., (1999), o conhecimento da variabilidade espacial da capacidade de retenção de água e de outras características correlacionadas com a disponibilidade de água do solo é de fundamental importância no manejo da irrigação, permitindo o zoneamento da área em glebas que receberão manejo diferenciado.

Coelho & Or (1999), avaliando um modelo de distribuição de água e de potencial matricial no solo sob gotejamento com extração de água pelas raízes de milho, chegaram a conclusão que o modelo permite avaliar o manejo de irrigação e a atividade das raízes no

bulbo molhado, e contribuindo para a definição do posicionamento de sensores de umidade ou de potencial no solo.

Coelho et al., (2001), estudando a extração de água na zona radicular pela cultura da manga, cultivar Tommy Atkins com 4 anos de idade, sob microaspersão na microrregião de Teresina, estabeleceu que os maiores teores de água encontraram-se entre 0,5 m e 1,5 m de distância da planta e que o centro de atividade do sistema radicular ocorreu a distância radial de 1,0 m da planta e a profundidade de 0,5 m.

No modelo proposto de extração de água para a cultura do milho sob gotejamento, Coelho e Or (1999) observaram altas oscilações no potencial matricial nas posições mais próximas do gotejador, indicando a alta influência da extração de água pelas raízes nestas posições, identificando, portanto, o centro de extração de água pelas raízes próxima do gotejador.

## **2.4 Distribuição de água do solo**

Muitos técnicos e engenheiros de irrigação tomam como base os resultados da uniformidade de distribuição de água na superfície do solo para avaliar os diversos sistemas de irrigação pressurizados. De acordo Rocha et al. (1998), a avaliação da uniformidade de distribuição de água apenas na superfície do solo, desconsiderando-se a redistribuição de água no seu perfil, que é tridimensional e de grande importância nas relações água-solo-planta, pode subestimar a eficiência de funcionamento do sistema.

A microirrigação é dimensionada de acordo com o meio utilizado para propagação da água. A microaspersão, que utiliza o ar como meio de propagação, pode ser dimensionada medindo-se a superfície molhada ou seguir as informações de catálogos dos fabricantes de emissores (Lopez et al., 1992). No caso de gotejadores, que utilizam o próprio solo, a distribuição de água depende da vazão do emissor, da configuração do emissor (se é superficial ou subsuperficial, se é pontual ou em linha), da condição inicial e final da umidade do solo, das propriedades físicas do solo e sua distribuição espacial e da atividade do sistema radicular (Coelho & Or, 1996).

Coelho & Or (1999), avaliando um modelo de distribuição de água e de potencial matricial no solo sob gotejamento com extração de água pelas raízes, afirmam que a

distribuição de água no bulbo molhado pode ser determinada tanto durante o processo de infiltração, decorrente da aplicação de água pelo emissor, como durante a fase de redistribuição de água entre o fim de uma irrigação até o início da próxima. Entretanto, a distribuição atual de umidade ou de potencial no bulbo molhado só pode ser completada com a inclusão da atividade do sistema radicular, que, num regime adequado de irrigação, torna-se o principal sumidouro no balanço de água.

A influência de diversas variáveis de irrigação na redistribuição de água dentro do solo foram determinadas por meio de modelo matemático proposto por Hart & Reynolds (1965), chegando a conclusão de que a avaliação de irrigação por sistemas de aspersão, pelas medidas de superfície, subestima a sua uniformidade, sendo, portanto, inadequada, se o objetivo do projeto é resultar num sistema mais econômico.

## **2.5 Sensores de água do solo para monitoramento de irrigação**

A adoção de um critério racional para o controle de irrigação já é suficiente para se auferir redução no desperdício de água e possivelmente, aumentar a produtividade (Fischbach, 1981). Vários métodos e equipamentos foram desenvolvidos para medir o conteúdo de água do solo, tornando-se uma ferramenta importante no manejo racional da irrigação. De acordo com Guerra (2000), existem métodos diretos e indiretos para se medir o conteúdo de água do solo, dentre os mais importantes, destacam-se o método direto gravimétrico e os métodos indiretos temos: a) papel filtro, b) pesagens, c) speed, d) resistência elétrica, e) sonda de neutrons, f) radiação gama, g) tensiômetros, h) psicrômetros, i) tomografia computadorizada e j) TDR – reflectometria no domínio do tempo.

De acordo Tommaselli (2001), a aplicação da técnica da TDR apresenta algumas vantagens e desvantagens. Como desvantagens, em primeiro plano, o seu custo elevado e, em segundo plano, a sua calibração, que se apresenta trabalhosa e, até o presente momento, dependente dos tipos de solos, forçando o usuário final a construir a sua própria curva de calibração. Como vantagens, a técnica da TDR apresenta características positivas importantes, tais como a repetibilidade das leituras, a não destruição da região amostrada, não emissão de radiações ionizantes e outras vantagens como portabilidade e facilidade de acoplamento a dispositivos coletores de dados.

A utilização do TDR na determinação da umidade volumétrica do solo facilita o manejo de irrigação, pois possibilita a obtenção instantânea do tempo necessário de funcionamento do sistema de irrigação (Otto, 2001). Tommaselli (2001) propõe que a reflectometria de microndas é uma alternativa para a medida do conteúdo de água no solo. Com a popularização e baixo custo dos computadores, a referida técnica apresenta grande potencial de aplicações em situações de necessidades de automação do monitoramento simultâneo da umidade do solo em múltiplos pontos de estudo.

Ao referir-se ao monitoramento do estado da água do solo com o uso da técnica da TDR, é necessário ater-se para os mesmos pontos, que devem ser observados para qualquer sensor, observando-se a posição de instalação dos mesmos em relação ao emissor (caso da irrigação localizada) e em relação a própria planta, sendo as guias de onda posicionadas na zona de maior atividade do sistema radicular (Coelho & Arruda 2001).

Machado & Coelho (2000) concluíram que, para fins de manejo de irrigação, na cultura da lima ácida 'Tahiti', o posicionamento ideal dos tensiômetros deverá ficar entre 50 e 75% do raio de projeção da copa, a partir do tronco da planta, para as camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, sendo que as duas primeiras camadas são utilizadas como indicadores do momento de iniciar a irrigação, enquanto a terceira é para verificação da frente de molhamento do bulbo no solo.

No trabalho conduzido com a cultura da manga sob as condições subúmidas do estado do Piauí, estabeleceu-se, para fins de monitoramento de irrigação localizada, que as posições mais adequadas de instalação de sensores de água do solo para os regimes de irrigação de 44, 55, 86, 100 e 137% da evapotranspiração de referência, determinada a partir da evaporação do tanque classe A, devem situar-se entre 0 e 1,75 m do tronco e as profundidades entre 0 e 0,6 m (Oliveira, 2001).

Santos (1997), trabalhando com mangueiras de 5 anos de idade, irrigadas por microaspersão no estado de São Paulo, determinou que, para monitoramento de irrigação localizada, o posicionamento ideal dos tensiômetros deverá ser de 100 a 150 cm de distância horizontal em relação ao tronco da planta e de 20, 40 e 60 cm de profundidade em relação a superfície do solo.



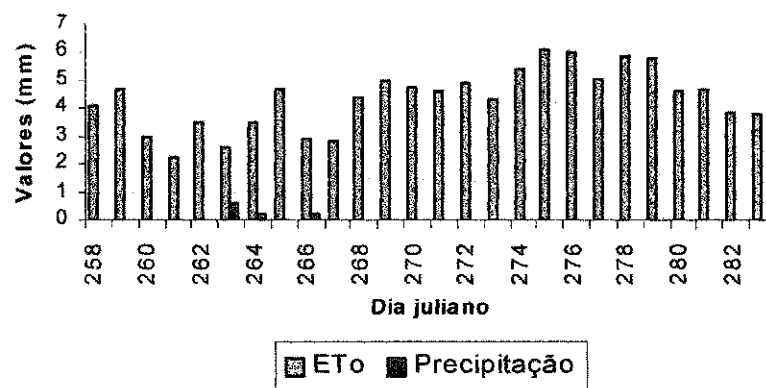


Figura 1 – Valores diários da precipitação e evapotranspiração potencial de Penman modificado FAO 24 (Doorembos & Pruitt, 1977), estimados por meio de uma estação agrometeorológica automática.

### 3.1.1 Caracterização físico-hídrica

O solo da área é um Latossolo Amarelo Distrófico a Franco, de textura média, com topografia plana, apresentando características físico-hídricas mostradas na Tabela 1.

A Figura 2 representa a faixa disponível do teor de água do solo e, no Anexo 1 se encontram as curvas características de água no solo para as profundidades de 0,25; 0,5; 0,75 e 1 m, para as três frequências de irrigação. Os parâmetros de ajuste de van Genuchten para as curvas encontram-se no Anexo 2.

### 3.2 Construção e calibração dos sensores de umidade

As guias de onda de TDR com capacitor e sem capacitor foram construídas no Laboratório de Física dos Solos da Embrapa - Mandioca e Fruticultura, apresentando as seguintes características: hastes de aço inoxidável, diâmetro de 0,003 m, espaçamento de 0,009 m entre hastes, 0,15 m de comprimento, com três hastes por guia de onda e cabo coaxial

Tabela 1 – Características físico-hídricas da área experimental

Profundidade em (cm)	Classificação textural do solo	Minerais			Porosidade total (%)	Densidade do solo (g.cm <sup>-3</sup> )	Densidade partículas (g.cm <sup>-3</sup> )	Umidade 6 Kpa cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>	Umidade 1500 Kpa cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>
		Areia total (g.Kg <sup>-1</sup> )	Silte (g.Kg <sup>-1</sup> )	Argila (g.Kg <sup>-1</sup> )					
25	Franco arenoso	771,6	91,8	136,6	0,41	1,46	2,51	0,157	0,078
50	Franco argilo arenoso	643,1	129,2	227,7	0,42	1,48	2,56	0,169	0,100
75	Franco argilo arenoso	592,6	145,0	262,4	0,40	1,52	2,52	0,214	0,126
100	Franco argilo arenoso	582,7	125,7	291,6	0,41	1,45	2,47	0,216	0,114

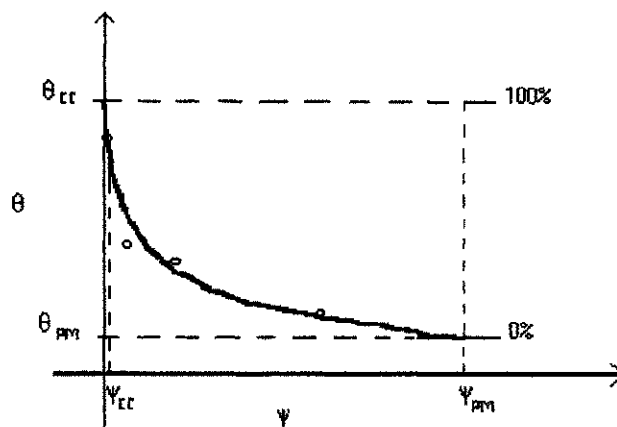


Figura 2 – Representação da faixa disponível do teor de água do solo.

de 50 ohms de 1,8 m de comprimento, que segundo Zegelin et al (1989) é o modelo que apresenta a melhor relação entre a facilidade de construção e precisão de medidas. Para frequência de irrigação de um dia, utilizou-se sondas com capacitor de 3,9 pFa e, para frequência de irrigação de dois e três dias, sondas sem capacitor.

A calibração dos sensores foi feita no Laboratório de Física dos Solos da Embrapa – Mandioca e Fruticultura. O solo foi coletado na área do experimento e trazido para o laboratório onde foi seco ao ar, depois destorroado com rolo de madeira e passado em peneira de 2 mm sendo em seguida, colocado em tubos de PVC de 75 mm de diâmetro e 0,25 m de altura, compactando o solo de forma homogênea até atingir a densidade do solo no campo, preenchendo a coluna até obter uma altura de 0,2 m. Na base do tubo, foram colocadas telas bem finas com a função de só permitir a passagem da água para o exterior do tubo. Depois os tubos com solo foram saturados durante 24 horas, inserindo, em seguida, a guia de onda no solo até cobrir completamente as hastes do sensor. A partir daí, iniciou-se as leituras do peso do conjunto tubo – sonda – solo – tela (Figura 3), feita com balança analítica, e da umidade

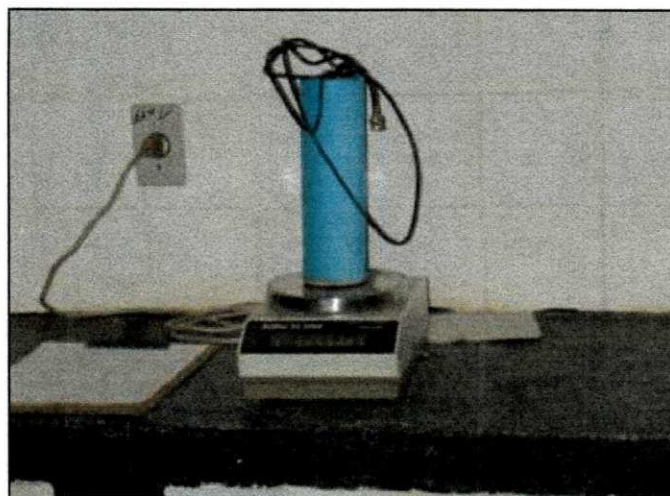


Figura 3 – Conjunto tubo – sonda – solo – tela , utilizado na calibração do solo com a TDR.

estimada pela TDR. O testador de cabos usado foi TDR Trase 1, onde se fazia leitura direta na tela “Measurement Screen” e indireta por meio da constante dielétrica estimada a partir do tempo de propagação do pulso eletromagnético (dt) obtido na tela “TDR Screen”. A princípio, as leituras eram feitas duas vezes ao dia, pois a perda de água por percolação era muito elevada, no entanto, quando percebeu-se redução na percolação, as leituras passaram a ser feitas uma vez ao dia. A medida que a umidade foi diminuindo, reduziu-se a frequência de leituras para intervalos de dois dias. Quando o solo atingiu níveis de umidade de  $0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  as leituras foram interrompidas, procedendo-se o secamento do mesmo em estufa a  $110^\circ\text{C}$ . A umidade gravimétrica referente a cada pesagem do conjunto tubo – solo – sonda – tela foi determinada pela equação:

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

Onde,  $\theta$  – umidade gravimétrica do solo ( $\text{m m}^{-3}$ );

$P_1$  – peso do conjunto tubo – solo úmido – 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);

$\theta_b$  – densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ).

A constante dielétrica referente a cada leitura indireta foi obtida, segundo Or & Dasberg (1999), por:

$$\varepsilon_b = \left( \frac{c dt}{2L} \right)^2 \quad (2)$$

Onde  $\theta_b$  – constante dielétrica aparente do solo;

$c$  – velocidade da luz ( $\text{m s}^{-1}$ );

$dt$  – tempo de propagação (s) da onda eletromagnética na haste da guia de onda;

$L$  – comprimento da haste (m).

A determinação da umidade foi tomada com base no ajuste dos valores obtidos por gravimetria aos dados da  $\theta_b$  estimados. Para ajuste dos dados a diversos modelos, usou-se o software Table Curve 2D, tendo-se obtido melhor ajuste com os seguintes modelos empíricos, para guias de onda com capacitor (Equação 3) e guias de onda sem capacitor (Equação 4):

$$\theta = 0,022892 \theta_b^{0,899739} \quad (3)$$

$$\theta = 0,015404 \theta_b^{0,989371} \quad (4)$$

Onde,  $\theta$  – umidade ( $\text{m m}^{-3}$ )

$\theta_b$  – constante dielétrica do solo

As Figuras 4 e 5 apresentam as curvas obtidas pelo ajuste dos dados da gravimetria em função da umidade medida na TDR para as guias de onda com capacitor e sem capacitor, respectivamente.

### 3.3 Instalação do sistema de coleta de dados

O experimento foi executado para as frequências de irrigação de um, dois e três dias, considerando a lâmina de água de manejo correspondente ao  $K_c$  igual a 1,0. As avaliações foram realizadas em três plantas (uma planta para cada frequência de irrigação), sendo que, para cada planta, foram instaladas duas baterias de sensores de umidade do solo ou guias de onda de TDR (Reflectometria no domínio do tempo), sendo uma bateria na posição ortogonal à fileira de plantas e outra bateria longitudinal à fileira (Figura 6). Cada bateria de sensores foi instalada, obedecendo-se a configuração de uma malha com a seguinte disposição no perfil longitudinal à fileira de plantas: 0,15; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; 1,5 e 2,0 m de distância horizontal da planta, e 0,15; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0 e 1,2 m de profundidade no perfil do solo. No sentido ortogonal à fileira de plantas, utilizou-se as mesmas posições, com acréscimo da posição horizontal à fileira de plantas de 2,5 m.

### 3.4 Manejo e monitoramento de água no solo

O controle das irrigações foi feito usando um programa de computador em linguagem Quick Basic 4.5 apresentado no Anexo 3, cujos parâmetros de entrada foram basicamente a data (dia, mês e ano), a frequência de irrigação, a evapotranspiração potencial de Penman modificado e a precipitação diária, obtidos da estação meteorológica automática instalada próximo do experimento. Em agosto de 2001, foi aplicado um estresse hídrico ao solo que ocasionou estresse hídrico na cultura para fins de indução da floração. A primeira irrigação, após o estresse, foi uma irrigação longa, elevando o solo a capacidade de campo. A partir daí, retomou-se as irrigações com base no manejo atribuído ao experimento, ou seja, aplicando o volume de água exigido pela cultura para cada frequência de irrigação. Iniciaram-se, então, as avaliações da umidade do solo, referentes a dois ciclos de irrigação. Os tempos de irrigação, equivalentes à média de dois ciclos de irrigação, foram de 2h e 30 min, referente a frequência de irrigação de um dia, 4h e 20min, referente a frequência de irrigação de dois dias de 6h e 30 min, referente a frequência de irrigação de três dias. Para que fosse computada apenas a extração da água do solo pelas raízes da cultura, por meio da transpiração, a região onde foram realizadas as leituras de umidade foi coberta com um plástico (Figura 7) após cada irrigação,

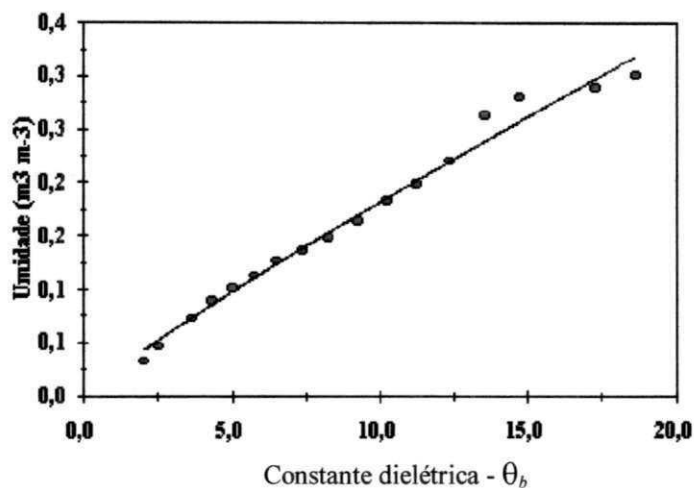


Figura 4 – Curva obtida pelo ajuste dos dados de umidade em função da constante dielétrica estimada na TDR, para guias de onda com capacitor.

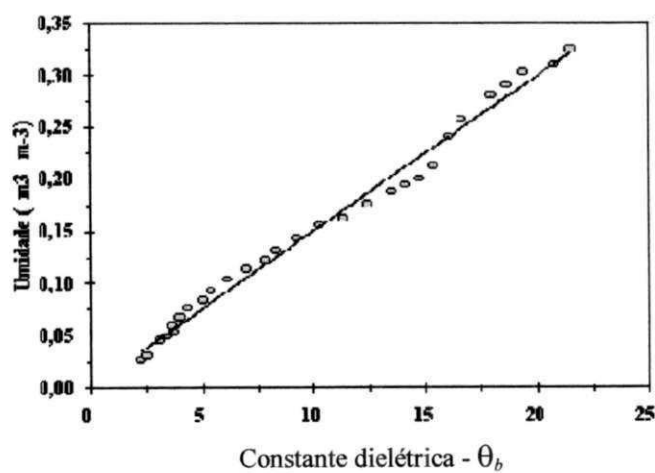


Figura 5 – Curva obtida pelo ajuste dos dados de umidade em função da constante dielétrica estimada na TDR, para guias de onda sem capacitor.

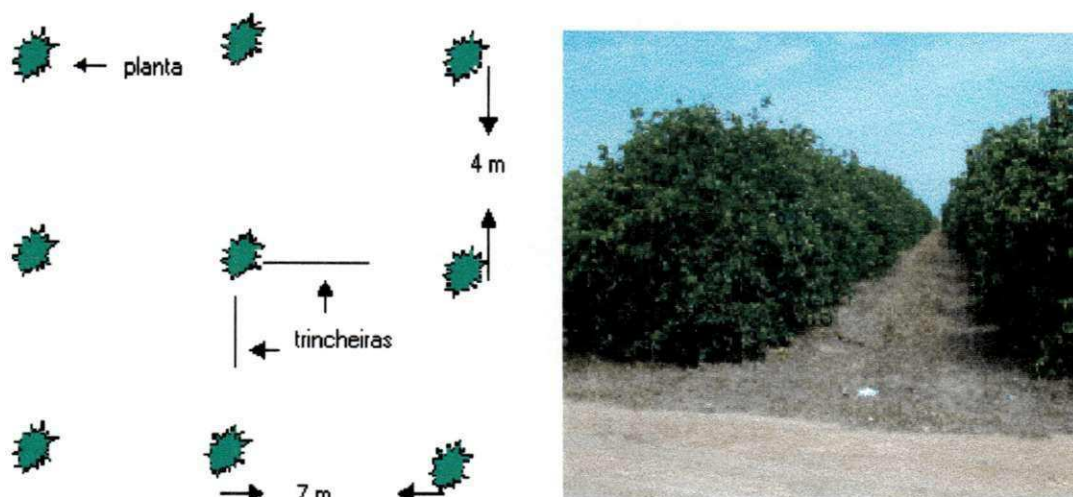


Figura 6 – Posição das trincheiras no experimento em relação as plantas.

de modo a evitar a evaporação de água do solo. Para avaliar as perdas de água por percolação, deu-se atenção a variação de umidade coletadas a maiores profundidades do perfil do solo (1,2 m), principalmente nas distâncias mais próximas do microaspersor.

### 3.4.1 Distribuição superficial da lâmina de água aplicada

Durante cada evento de irrigação, foi feito uma avaliação da distribuição de água na superfície do solo, com o auxílio de copos coletores distribuídos radialmente as linhas onde estavam instalados os sensores, durante cada evento de irrigação, para as três frequências estudadas. O espaçamento entre coletores foi o mesmo espaçamento horizontal das sondas TDR apresentado no item 3.3. O microaspersor usado foi de vazão  $38 \text{ L h}^{-1}$  e se localizou a 0,2 m de distância da planta.

A lâmina obtida para as posições longitudinal à fileira de plantas, foi a média entre as lâminas das filas de coletores 1 e 2, enquanto que a lâmina obtida para as posições ortogonais à fileira de plantas, foi a média entre as lâminas das filas de coletores 2 e 3 (Figura 8).



### 3.4.2 Distribuição subsuperficial da água no solo

O teor de água no perfil do solo foi monitorado usando sondas de TDR (Figura 9), no período de 24/09/2001 à 05/10/2001, para as três frequências de um, dois e três dias. As leituras de umidade foram realizadas duas vezes ao dia uma imediatamente antes da irrigação e outra uma hora depois da irrigação para dois ciclos de irrigação. A diferença entre as umidades em cada posição amostrada depois da irrigação e antes da próxima irrigação permitiu calcular a extração de água pelas raízes naquele período de tempo, conforme a equação (Coelho e Or, 1997):

$$ESR = \theta d - \theta a$$

(5)

Onde,  $ESR$  – extração de água do solo pelas raízes ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );

$\theta d$  – umidade do solo uma hora depois da irrigação ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );

$\theta a$  – umidade do solo imediatamente antes da próxima irrigação ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ).



Figura 7 – Cobertura da área molhada pelo microaspersor para evitar a evaporação.

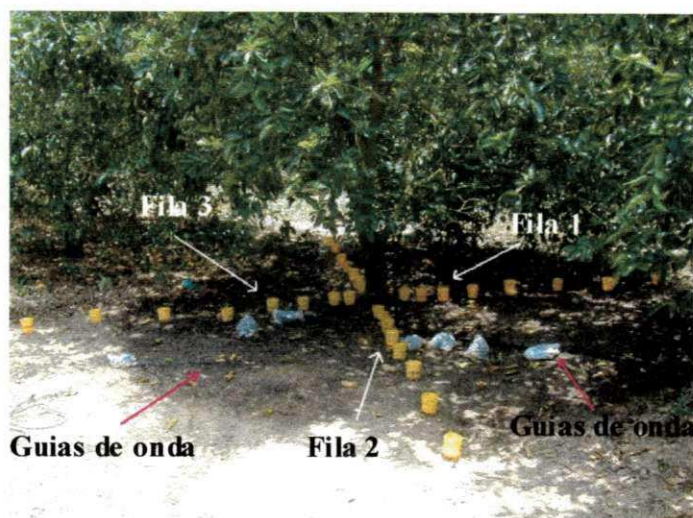


Figura 8 – Ensaio da distribuição superficial de água pelo emissor.

Com auxílio do software Surf 7, foram elaborados os gráficos das isolinhas de extração de água do solo pelas raízes e da distribuição de umidade no perfil do solo antes e depois da irrigação, utilizando-se a média das repetições.

As percentagens de água disponível no perfil do solo foram determinadas com base na curva característica de água do solo, para cada profundidade, de acordo com a equação:

$$AD' = \left( \frac{\theta - \theta_{mp}}{\theta_{cc} - \theta_{mp}} \right) * 100 \quad (6)$$

onde,  $AD'$  – percentagem de água disponível no perfil do solo (%);

$\theta$  – umidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ );

$\theta_{mp}$  – ponto de murcha permanente ( $m m^{-3}$ );

$\theta_{cc}$  – água disponível do solo ( $m^3 m^{-3}$ ).

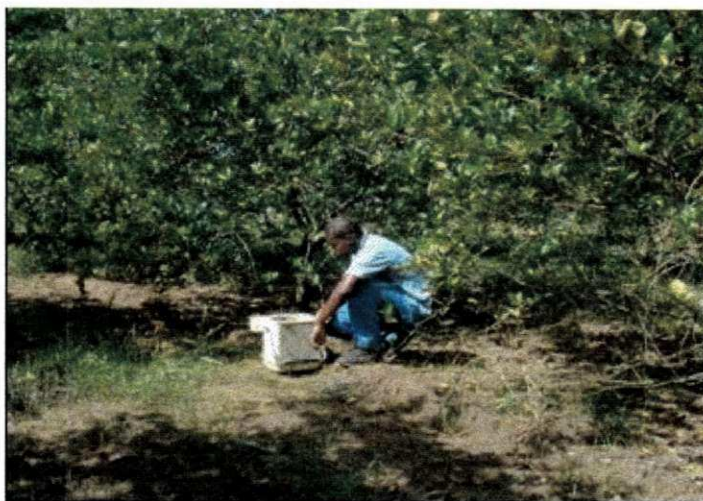


Figura 9 – Monitoramento da água no perfil do solo por meio de sondas de TDR

Por meio do software Surf 7, elaborou-se os gráficos das isolinhas das percentagens de água disponível do perfil do solo.

### **3.5 Coleta de amostra do sistema radicular**

A coleta de amostras de solo-raíz foi feita nas mesmas posições onde estavam inseridas as guias de onda de TDR, descrita no item 3.3. Foram abertas 12 trincheiras em 6 plantas, sendo 2 trincheiras por planta (Figura 10) , uma no sentido ortogonal a fileira de plantas e outra no sentido longitudinal, com duas repetições por frequência. As trincheiras no sentido longitudinal a fileira de plantas foram abertas na profundidade de 1,2 m a partir da superfície do solo, 2 m de distância horizontal da planta, a 0,25 m da base do caule da planta, com 0,5 m de largura. No sentido ortogonal a fileira as trincheiras tiveram 1,2 m de profundidade a partir da superfície do solo, 2,5 m de distância horizontal da planta, iniciando-se a 0,25 m da base do caule da planta e com 0,5 m de largura. As amostras foram coletadas a partir de blocos de solo de 0,1 m x 0,1 m x 0,05 m, pelo método dos monólitos (Bohm, 1979). A abertura das trincheiras limitou-se até a profundidade de 1,2 m, devido a dificuldade encontrada no escavamento manual, pois, a partir dessa profundidade, encontrou-se pedra, além das observações visuais da inexistência de raízes.



Figura 10 – Detalhe das trincheiras no perfil ortogonal e longitudinal à fileira de plantas.

### 3.6 Processamento das raízes

Após a retirada das raízes da trincheira, as amostras codificadas foram levadas para o laboratório, onde as raízes foram separadas do solo por lavagem com água e colocadas numa solução 50% de álcool e acondicionada em câmara fria à temperatura de 15°C. Uma vez individualizadas, as raízes de uma determinada posição do perfil do solo foram separadas conforme os diâmetros e colocadas em folhas de transparência, que foram, em seguida, levadas a um “scanner” de resolução de 600 dpi escala 100% e brilho 135 para raízes com diâmetro entre 0,6 e 2,15 mm e brilho 145 e 165, respectivamente, para diâmetros de raízes iguais ou próximos a 5,0 e 9,6 mm (Kaspar & Ewing, 1997; Coelho et al., 1999). As raízes foram digitalizadas em arquivos TIFF – “Targed Image File Format” (Figura 11). Os arquivos TIFF foram, em seguida, descompactados e submetidos ao software Adobe Photoshop 4.0, com a finalidade de limpar e beneficiar os arquivos que, posteriormente, foram submetidos ao software Rootedge (Kaspar & Ewing, 1997) para a determinação da área, comprimento e diâmetro de raízes. Tendo em vista o número de arquivos ou o número de imagens geradas correspondentes a cada posição do perfil, os arquivos de saída do software Rootedge, para cada posição, tiveram vários valores de área, comprimento e diâmetro das raízes, conforme o

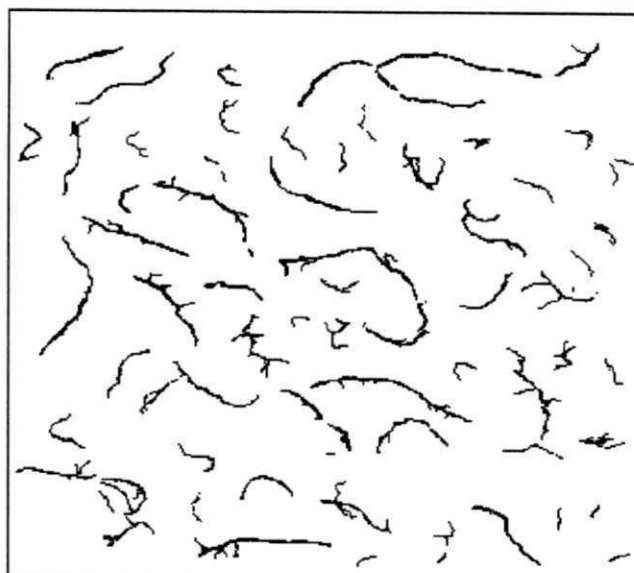


Figura 11 – Imagem digital de raízes do citrumelo ‘Swingle’ em formato TIFF (“Targed Imagem File Format”), após escaneamento.

número de arquivos gerados. Foi codificado um programa em Quick Basic (Coelho et al., 2001) para obter, a partir desses arquivos referentes a uma determinada posição do perfil (Anexo 4), a soma total dos comprimentos das raízes para aquela posição do perfil e separar os valores de diâmetros em seis diferentes classes, conforme a Tabela 2 (Bohm, 1979). Os dados de comprimento de raízes permitiram determinar a densidade de comprimento de raízes pela equação:

$$DCR = \frac{L_R}{V_R} \quad (7)$$

Onde,  $DCR$  – densidade de comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$ );

$L_R$  – comprimento total das raízes na amostra (cm);

$V_R$  – volume total da amostra de solo ( $\text{cm}^3$ ).

Com auxílio do software Surf 7, foram feitos os gráficos de isolinhas da densidade de comprimento de raízes e os gráficos de superfície de resposta das percentagens de comprimento para diferentes classes de diâmetros, utilizando-se a média de duas plantas amostradas.

TABELA 2 – Classes de diâmetro de raízes

Diâmetro das raízes (mm)	Classificação
< 0,5	Muito finas
0,5 – 2,0	Finas
2,0 – 5,0	Pequenas
5,0 – 10,0	Médias
10,0 – 20,0	Grandes
> 20,0	Muito grandes

Fonte: Bohm (1979).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Distribuição de água no solo

#### *Freqüência de irrigação de 1 dia*

A Figura 12 apresenta a distribuição de água na superfície do solo para os perfis ortogonal e longitudinal a fileira de plantas. Observa-se que o raio molhado na superfície do solo gerado pelo microaspersor atingiu a distância horizontal da planta de 2,5 m para ambos os perfis. Pôde-se perceber que as maiores lâminas encontraram-se próximas do emissor, havendo redução a medida que se afastam do mesmo.

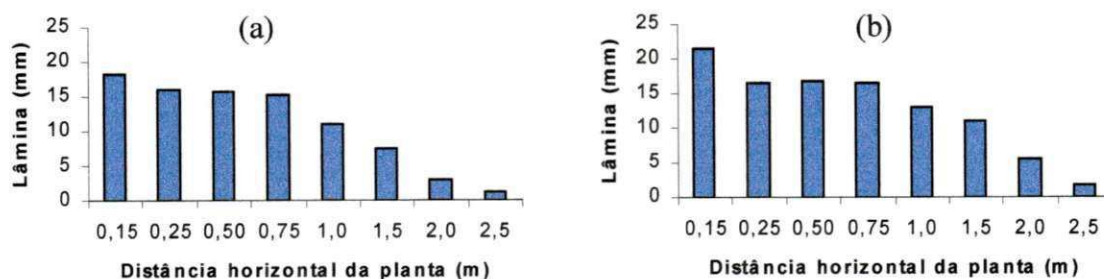


Figura 12 – Distribuição de água na superfície do solo referente a freqüência de irrigação de um dia, no sentido longitudinal a fileira de plantas (a) e sentido ortogonal a fileira de plantas (b).

As distribuições de umidade no perfil do solo, para freqüência de irrigação de um dia, antes e após a irrigação, para os perfis longitudinal e ortogonal à fileira de plantas estão apresentadas nas Figura 13 e 14, respectivamente. No perfil longitudinal à fileira de plantas (Figura 13), os maiores teores de umidade do solo se localizaram na região de 0 a 0,7 m de profundidade e à distância horizontal da planta de 0,4 m. Observando-se o perfil antes da irrigação, verifica-se que nessa área os valores de umidade diminuíram significativamente, possivelmente devido à extração de água pelo sistema radicular da planta e a redistribuição de água no perfil do solo, uma vez que a água tende a se deslocar das regiões mais úmidas para aquela de menor umidade. Segundo Reichardt (1985), a tendência espontânea e universal de toda matéria na natureza é assumir um estado de energia mínima, onde a água, obedecendo a esse conceito, move-se constantemente no sentido da diminuição do gradiente de potencial, promovendo, então, uma redistribuição de umidade no perfil do solo. No perfil ortogonal à fileira de plantas (Figura 14), observa-se que os maiores teores de umidade do solo se localizaram até 0,6 m de distância horizontal da planta e à profundidade de 0 a 1,2 m, depois da irrigação. O fato de a umidade ter atingido profundidades em torno de 1,2 m na região próximo ao emissor pode ser devido à um galho da planta que se encontrava próximo do emissor, e quando a água batia nas folhas criou-se uma goteira naquela região, o que pode ter causado o aumento de umidade até aquela profundidade.

As Figuras 15 e 16 ilustram as isolinhas das percentagens de água disponível no perfil do solo para freqüência de irrigação de um dia, imediatamente antes e uma hora após cada irrigação, para os perfis longitudinal e ortogonal à fileira de plantas, respectivamente. A Figura 15b mostra que os teores de água dentro da faixa de água disponível após a irrigação se localizaram no perfil do solo até 0,7 m de profundidade e até 0,7 m de distância horizontal da planta, apresentando teores de água dentro da faixa de água disponível acima de 50% entre 0 e 0,6 m de profundidade e entre 0-0,5 m de distância horizontal da planta. No perfil ortogonal à fileira (Figura 16), os teores de água dentro da faixa de água disponível após a irrigação se localizaram de 0 a 0,5 m de profundidade e até a distância horizontal da planta de 2 m. Para distâncias horizontais da planta inferiores a 0,75 m os teores de água dentro faixa de água disponível vai até a profundidade de 1,2 m. Antes da irrigação (Figura 16a) não foram detectadas as isolinhas de água disponível na região de 0,8 m de distância horizontal da planta e profundidade entre 0,75 e 1,2 m, o que é visivelmente observadas depois da irrigação.



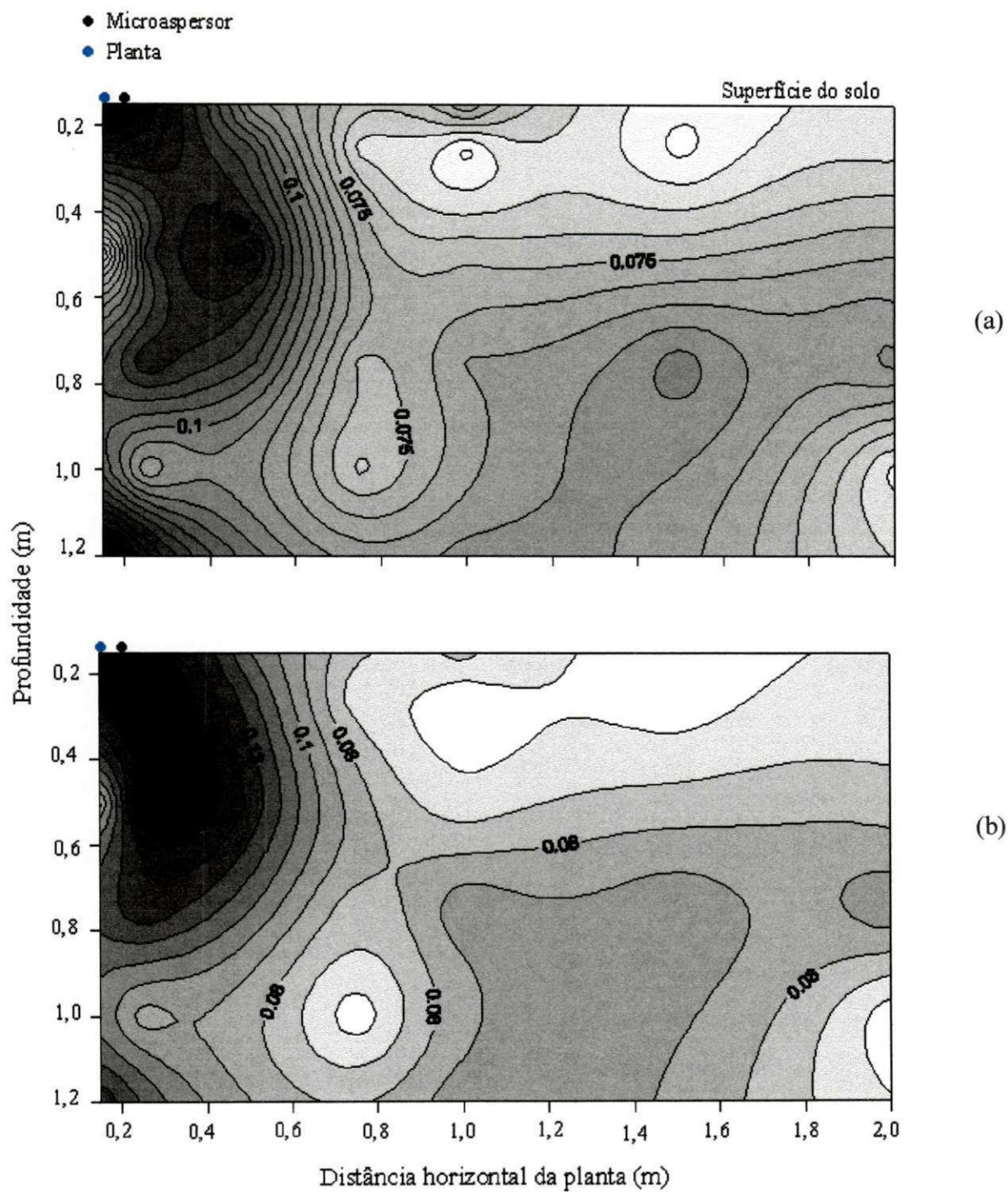


Figura 13 – Distribuição do teor de umidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) no perfil do solo longitudinal a fileira de plantas referente a frequência de irrigação de um dia; imediatamente antes da irrigação (a), e uma hora após a irrigação (b)

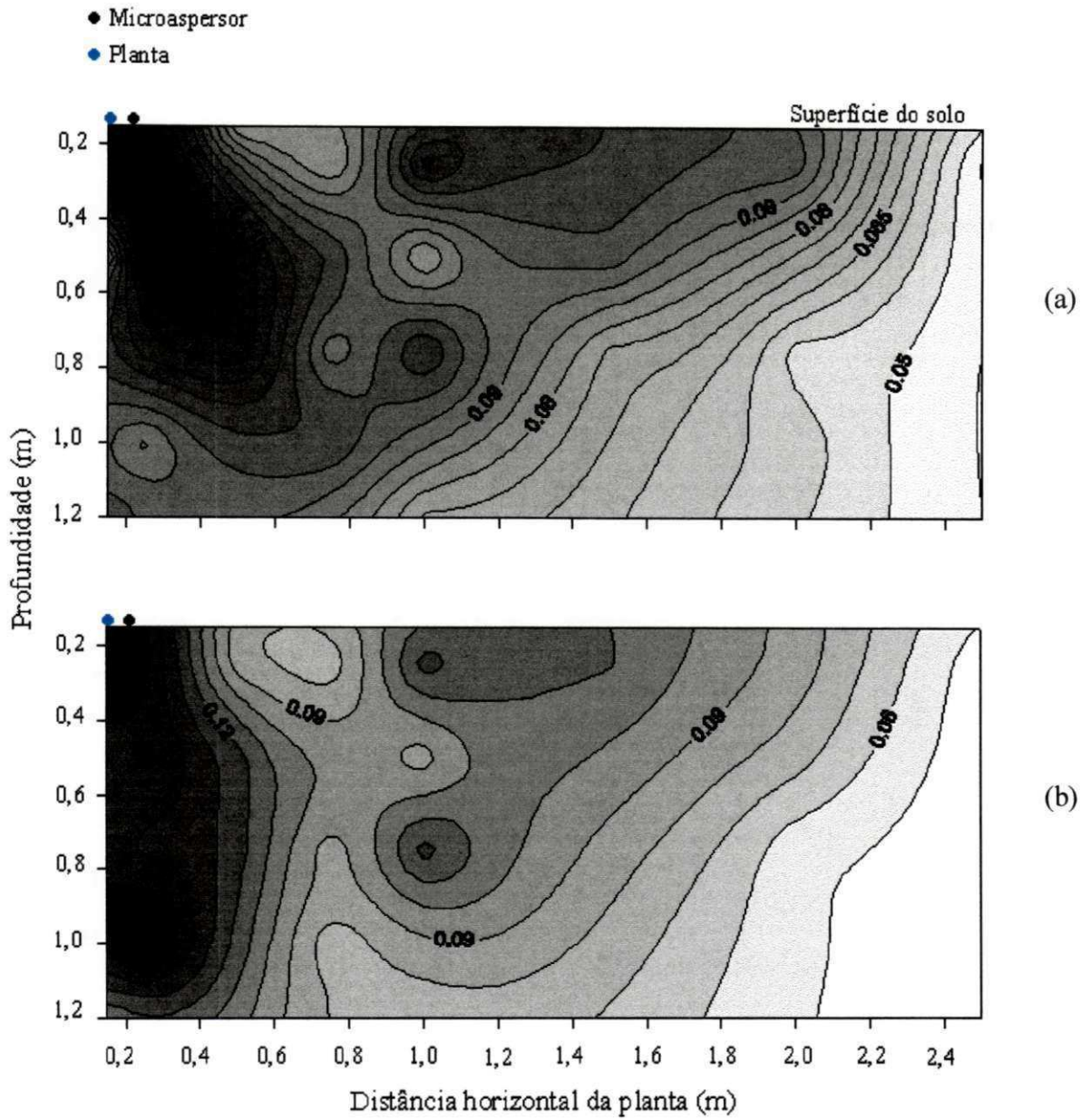


Figura 14 – Distribuição o teor de umidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) no perfil do solo ortogonal a fileira de plantas, referente a freqüência de irrigação de um dia, imediatamente antes da irrigação (a), e uma hora após a irrigação (b).

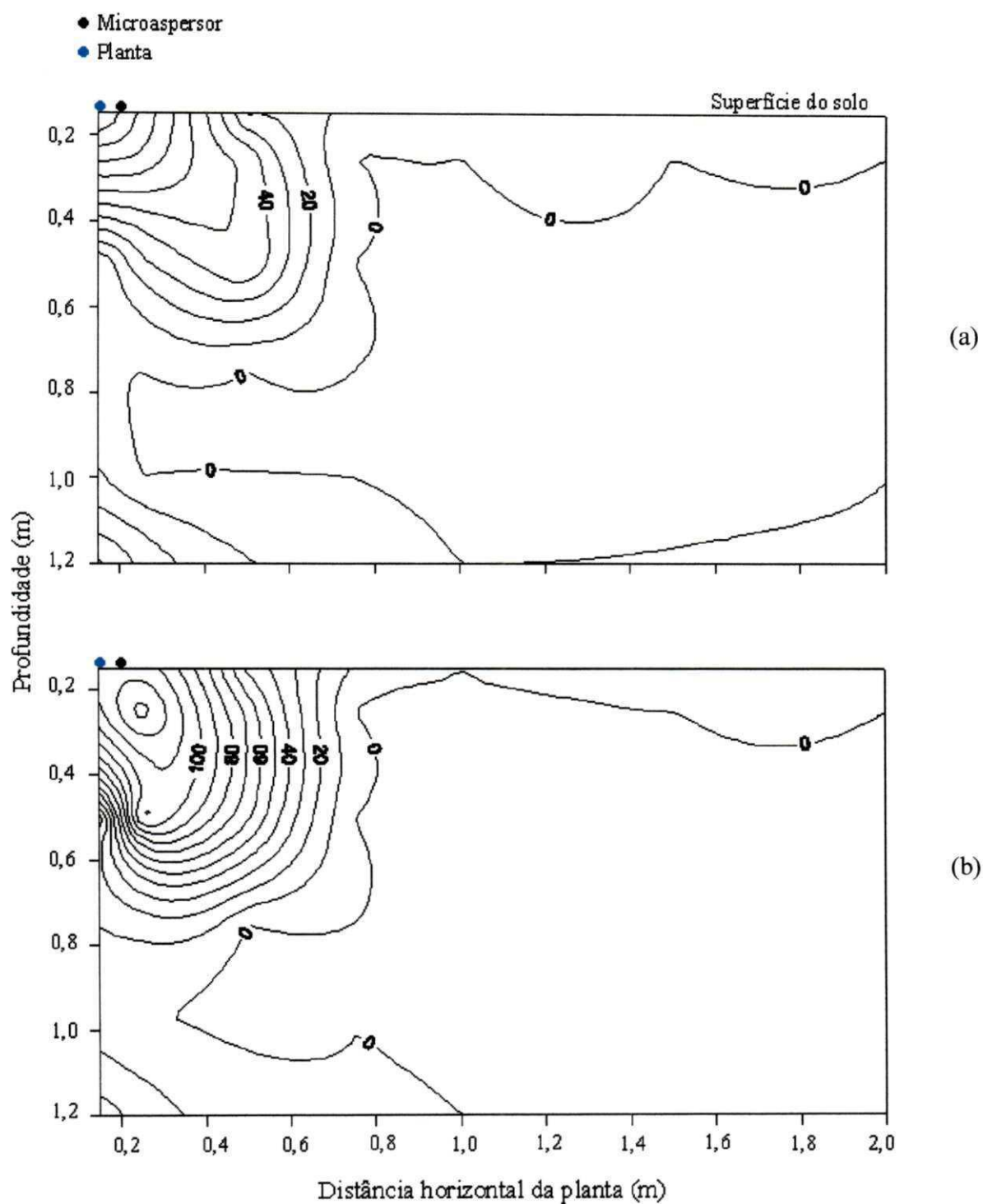


Figura 15 – Isolinhas do teor de água disponível em percentagem, no perfil do solo longitudinal à fileira de plantas, referente à frequência de irrigação de um dia, imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).

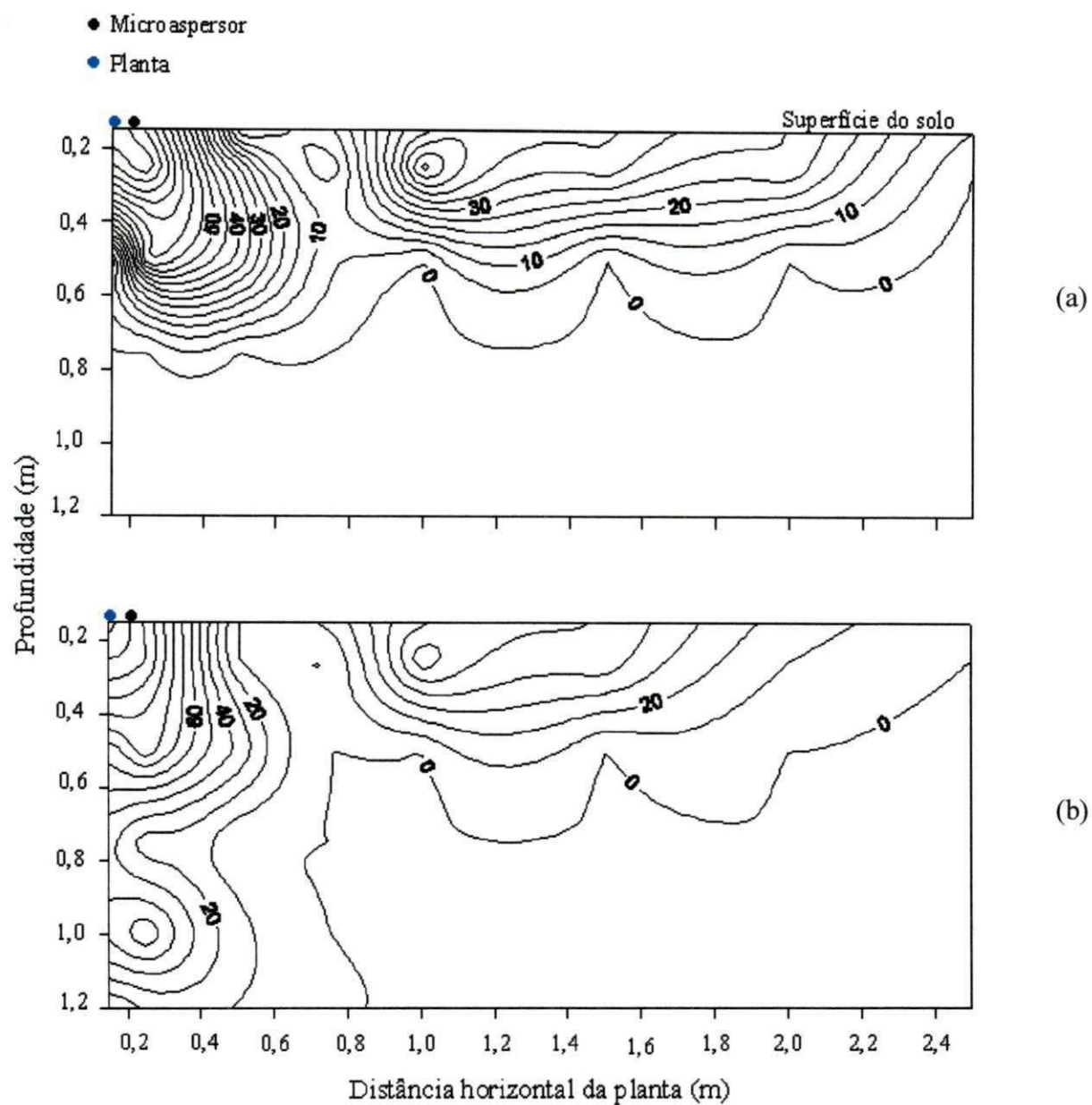


Figura 16 – Isolinhas do teor de água disponível, em percentagem, no perfil do solo ortogonal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de um dia, imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).

### *Frequência de irrigação de 2 dias*

A Figura 17 apresenta a distribuição de água na superfície do solo para os perfis ortogonal e longitudinal à fileira de plantas, onde pode-se observar que o raio molhado na superfície do solo gerado pelo microaspersor atinge a distância horizontal da planta de 2,5 m para ambos os perfis. Pode-se perceber que as maiores lâminas se encontraram próximas do emissor para ambos os perfis, com exceção da lâmina referente à distância de um metro no perfil ortogonal à fileira, pois a distribuição dos galhos da planta, causaram uma goteira no copo coletor, ocasionando o aumento da lâmina nessa posição.

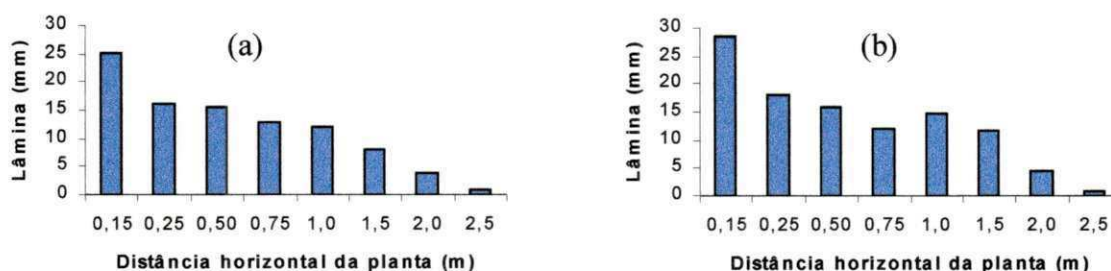


Figura 17 – Distribuição de água na superfície do solo referente a frequência de irrigação de dois dias, no sentido longitudinal (a) e ortogonal (b) a fileira de plantas.

Nas Figuras 18 e 19 tem-se a distribuição de umidade no perfil do solo para frequência de irrigação de dois dias, antes e após a irrigação, para os perfis longitudinal e ortogonal, respectivamente. Observa-se, na Figura 18(b), que os maiores teores de umidade do solo se localizaram de 0 a 0,9 m de profundidade e à distância horizontal da planta de até 0,8 m, o que pode ser atribuído a distribuição de água pelo microaspersor na superfície do solo (Figura 17), pois até a distância de 0,75 m da planta a precipitação atingiu mais de 70% do total da lâmina aplicada. Antes da irrigação a região onde está localizado os maiores teores de água tende a se dilatar, o que pode ser explicado devido ao processo de redistribuição da água do solo. Na (Figura 19), os maiores teores de umidade do solo se localizaram à 1,5 m de distância horizontal da planta e a profundidade de 0 a 0,8 m, visto que até a distância de 1,5 m da planta,

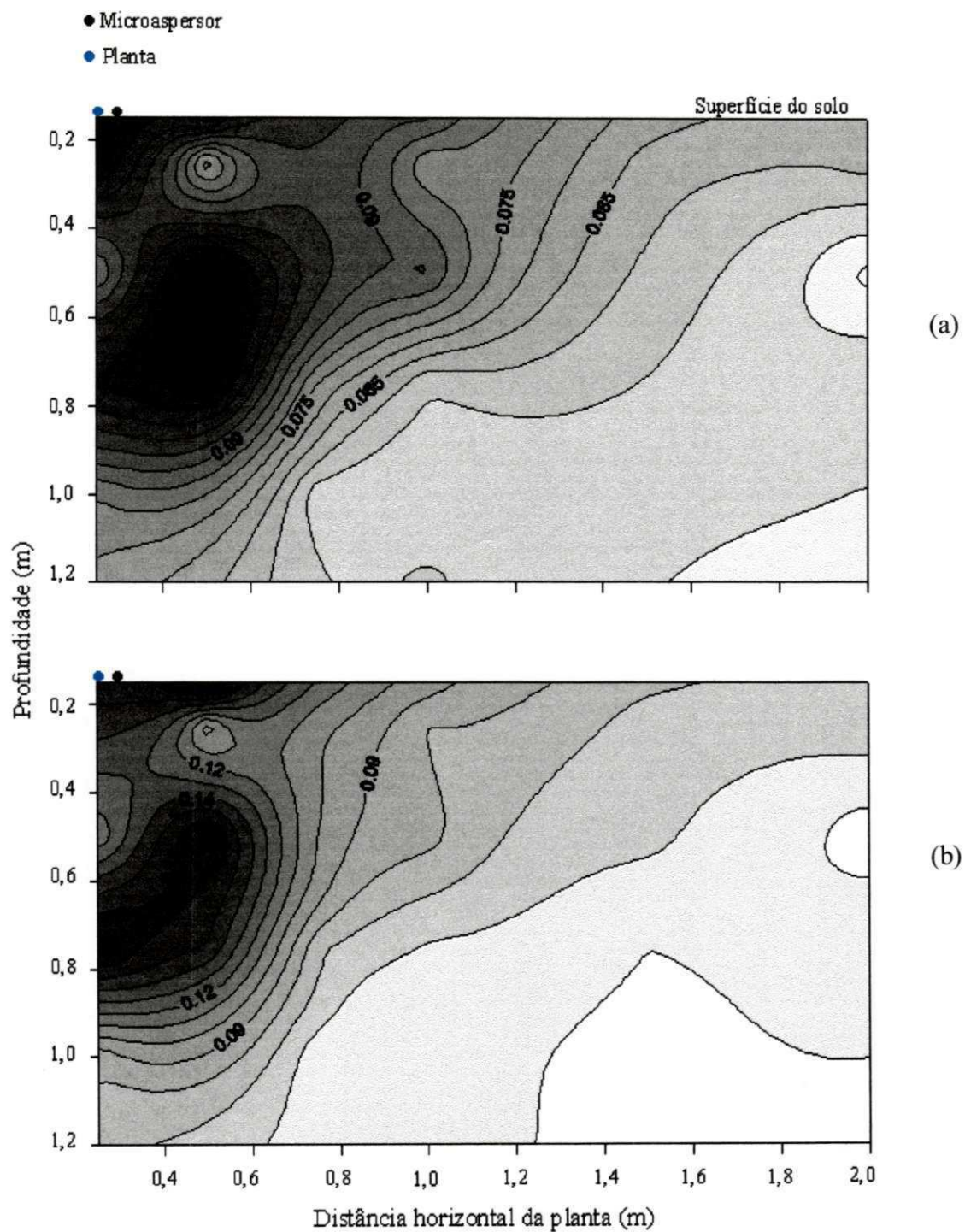


Figura 18 – Distribuição do teor de umidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) no perfil do solo, longitudinal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de dois dias, imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).

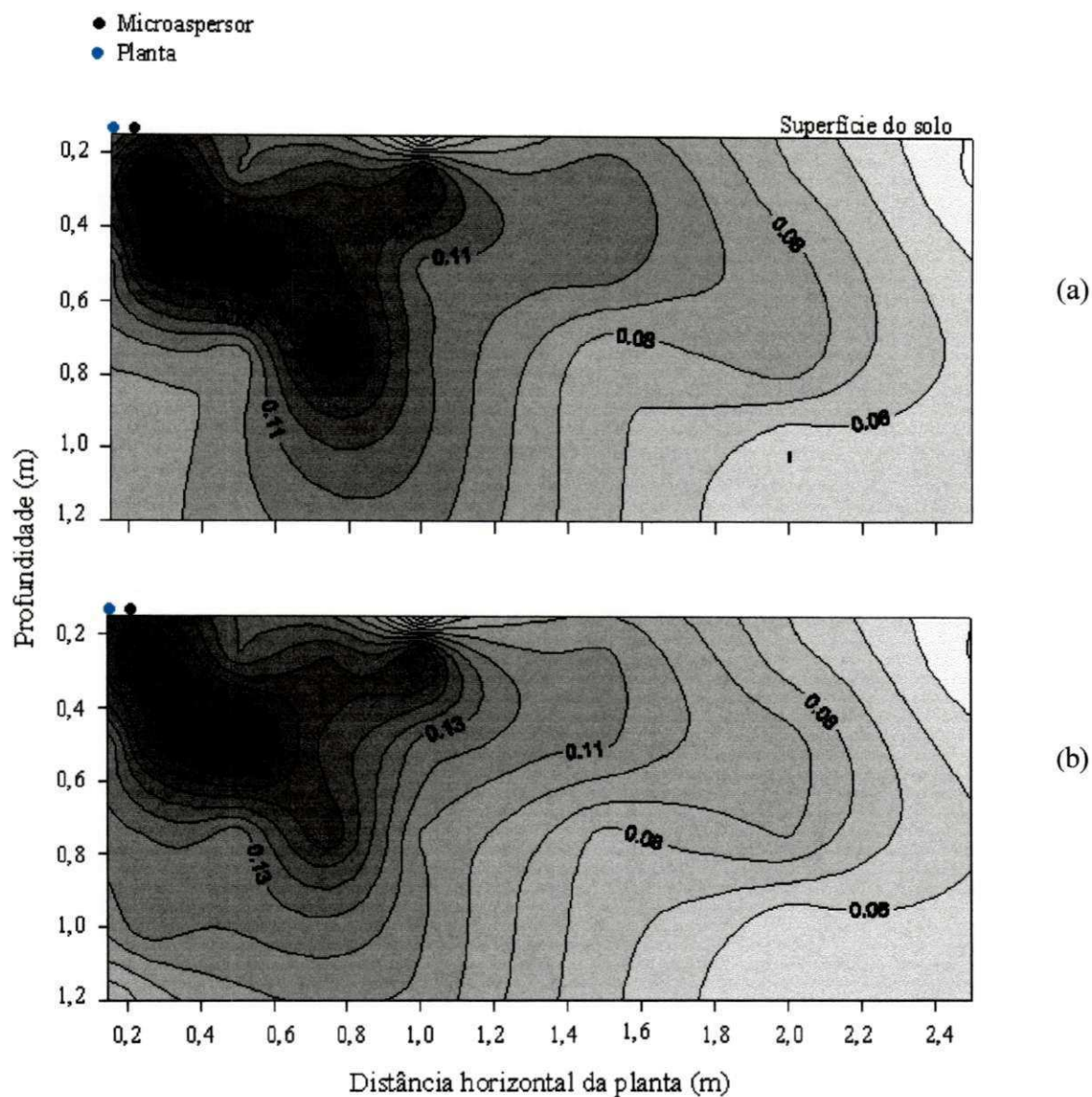


Figura 19 – Distribuição o teor de umidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) no perfil do solo, ortogonal a fileira de plantas, referente a freqüência de irrigação de dois dias, imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).

a precipitação atingiu 95% do total da lâmina aplicada pelo microaspersor (Figura 17).

As isolinhas das percentagens de água disponível no perfil do solo para frequência de irrigação de dois dias, imediatamente antes e uma hora após cada irrigação, para os perfis longitudinal e ortogonal, são ilustradas nas Figuras 20 e 21, respectivamente.

No perfil longitudinal (Figura 20), os teores de água dentro da faixa de água disponível após a irrigação se localizaram no perfil do solo de 0 – 1,0 m de profundidade e de 0 - 0,75 m de distância horizontal da planta. No perfil ortogonal (Figura 21), os teores de umidade dentro da faixa de água disponível, após a irrigação, se localizaram de 0 a 0,8 m de profundidade e a uma distância de 1,8 m horizontal da planta. Os teores de água se encontram acima de 50% de água disponível entre 0 e 0,6 m de profundidade e 1,1 m de distância horizontal da planta.

### ***Frequência de irrigação de 03 dias***

A distribuição de água na superfície do solo para os perfis ortogonal e longitudinal está ilustrada por meio da Figura 22, onde observa-se que o raio molhado na superfície do solo gerado pelo microaspersor atinge a distância horizontal da planta de 2,5 m, para ambos os perfis. Verificou-se que as lâminas maiores se encontraram próximas do emissor para ambos os perfis diminuíram a medida que se afastava do emissor.

A distribuição de umidade no perfil do solo para frequência de irrigação de três dias, antes e após a irrigação, para os perfis longitudinal e ortogonal à fileira de plantas estão ilustradas nas Figuras 23 e 24, respectivamente. No perfil longitudinal (Figura 23), os maiores teores de umidade do solo se localizaram de 0 a 1,1 m de profundidade e a distância horizontal da planta de 0,8 m, que pode ser atribuído a distribuição de água pelo microaspersor na superfície do solo, pois 70% do total da lâmina aplicada se estendeu até a distância de 0,75 m (Figura 22). Foi observado, através das Figuras 23a e 23b que a região onde está localizado os maiores teores de água tendem a se deslocarem quando comparados os perfis antes e depois da irrigação, isso ocorreu devido ao processo de redistribuição de água do solo. No perfil ortogonal (Figura 24) os maiores teores de umidade do solo se localizam à 1,5 m de distância horizontal da planta e à profundidade de 0 a 0,5 m, visto que até a distância de 1,5 m, precipitou 90% do total da lâmina aplicada (Figura 22).



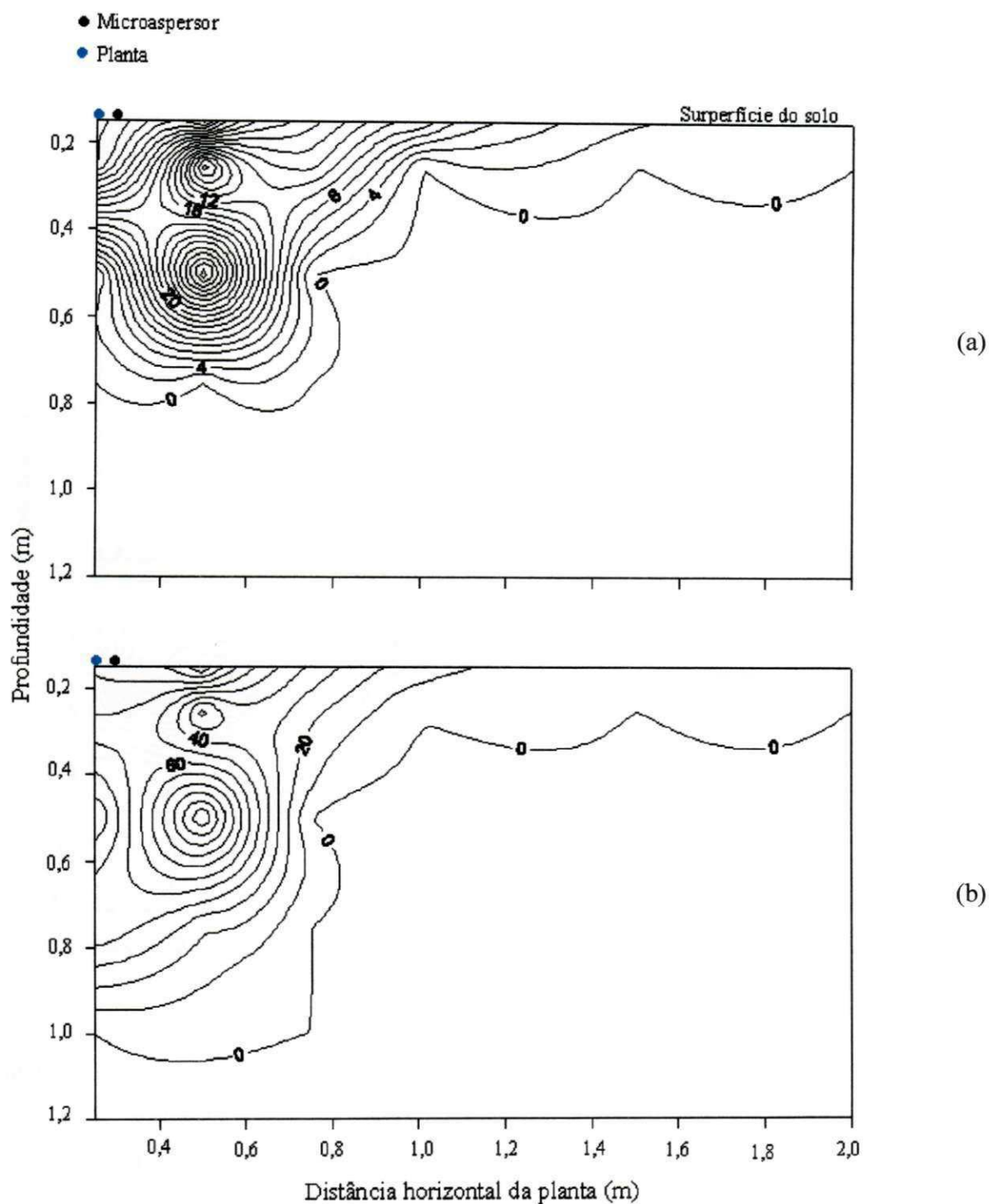


Figura 20 – Isolinhas do teor de água disponível em percentagem, no perfil do solo longitudinal à fileira de plantas, referente à frequência de irrigação de dois dias,; imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).

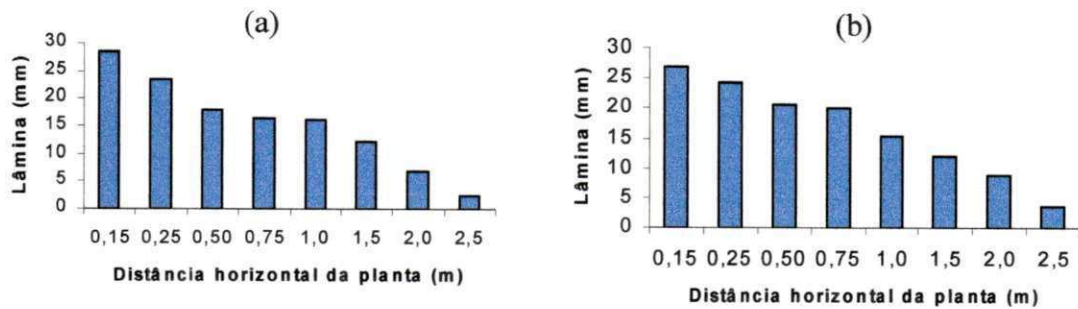


Figura 22 – Distribuição de água na superfície do solo, referente a frequência de irrigação de três dias, no sentido longitudinal (a) e ortogonal (b) a fileira de plantas.

As isolinhas das percentagens de água disponível no perfil do solo para frequência de irrigação de três dias, imediatamente antes e uma hora após cada irrigação, para os perfis longitudinal e ortogonal estão apresentadas nas Figuras 25 e 26. No perfil longitudinal (Figura 25), os teores de umidade dentro da faixa de água disponível, após a irrigação, se localizaram no perfil do solo até 0,6 m de profundidade e até 1,5 m de distância horizontal da planta. Para distâncias horizontais da planta inferiores à 0,5 m os teores de umidade dentro da faixa de água disponível se localizaram até 1,2 m de profundidade. Os teores de água acima de 50% de água disponível se localizaram entre 0 e 0,5 m de profundidade e de 0 - 1 m de distância horizontal da planta. No perfil ortogonal (Figura 26) os teores de umidade dentro da faixa de água disponível, após a irrigação, se localizaram de 0 a 0,5 m de profundidade e a distância horizontal da planta de 0 - 1,5 m.

Para as três frequências, o teor de umidade na superfície do solo não foi uniforme ao longo do raio molhado do microaspersor pelo fato de que, a partir de certa distância radial do microaspersor, a lâmina que cai na superfície do solo é insuficiente para infiltrar e aumentar significativamente o teor de água do solo (Coelho et al., 2000). Isto enfatiza a necessidade de se ter cautela no cálculo da lâmina de irrigação com base na área ocupada pela planta, principalmente quando se utiliza um microaspersor para quatro plantas, o que é muito comum em áreas irrigadas, principalmente no caso de fruteiras como banana e mamão. A aplicação de água pode não ser adequada, pois a lâmina que está sendo aplicada não é uniforme, ou seja, a medida que se afasta do microaspersor a lâmina diminui e, como o emissor fica no centro da

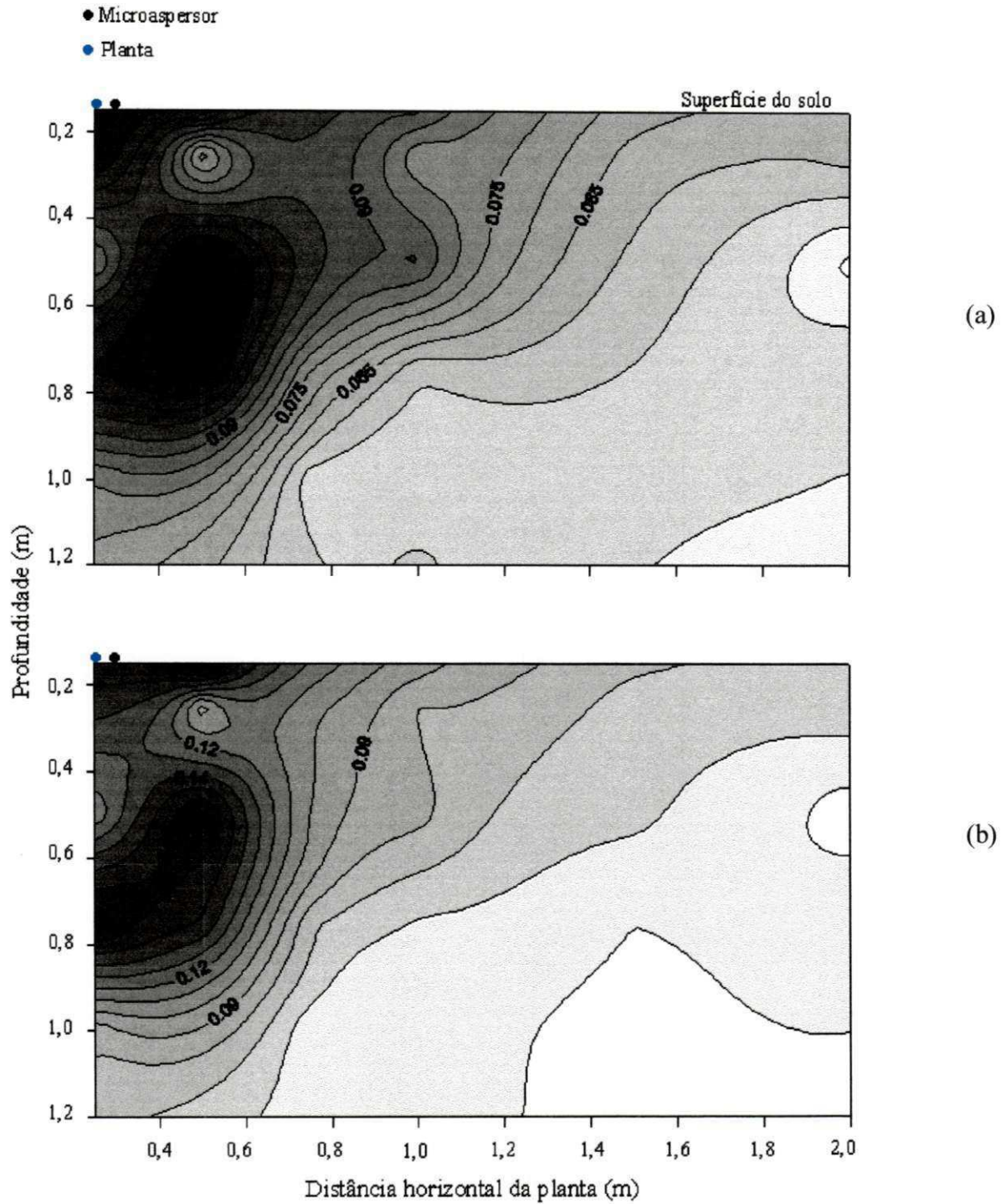


Figura 23 – Distribuição do teor de umidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) no perfil do solo longitudinal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de três dias, imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).

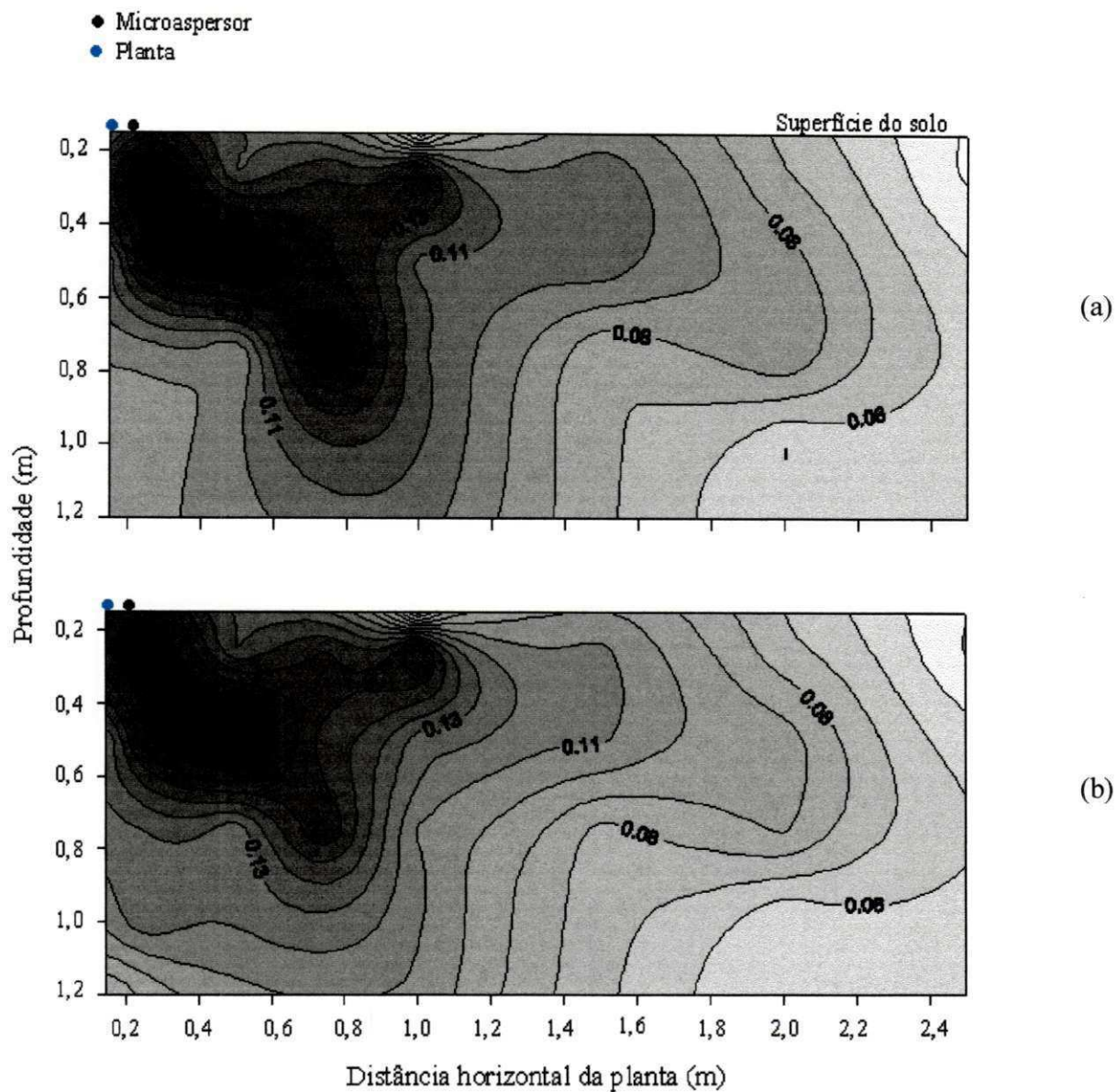


Figura 24 – Distribuição o teor de umidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) no perfil do solo ortogonal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de três dias, imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).

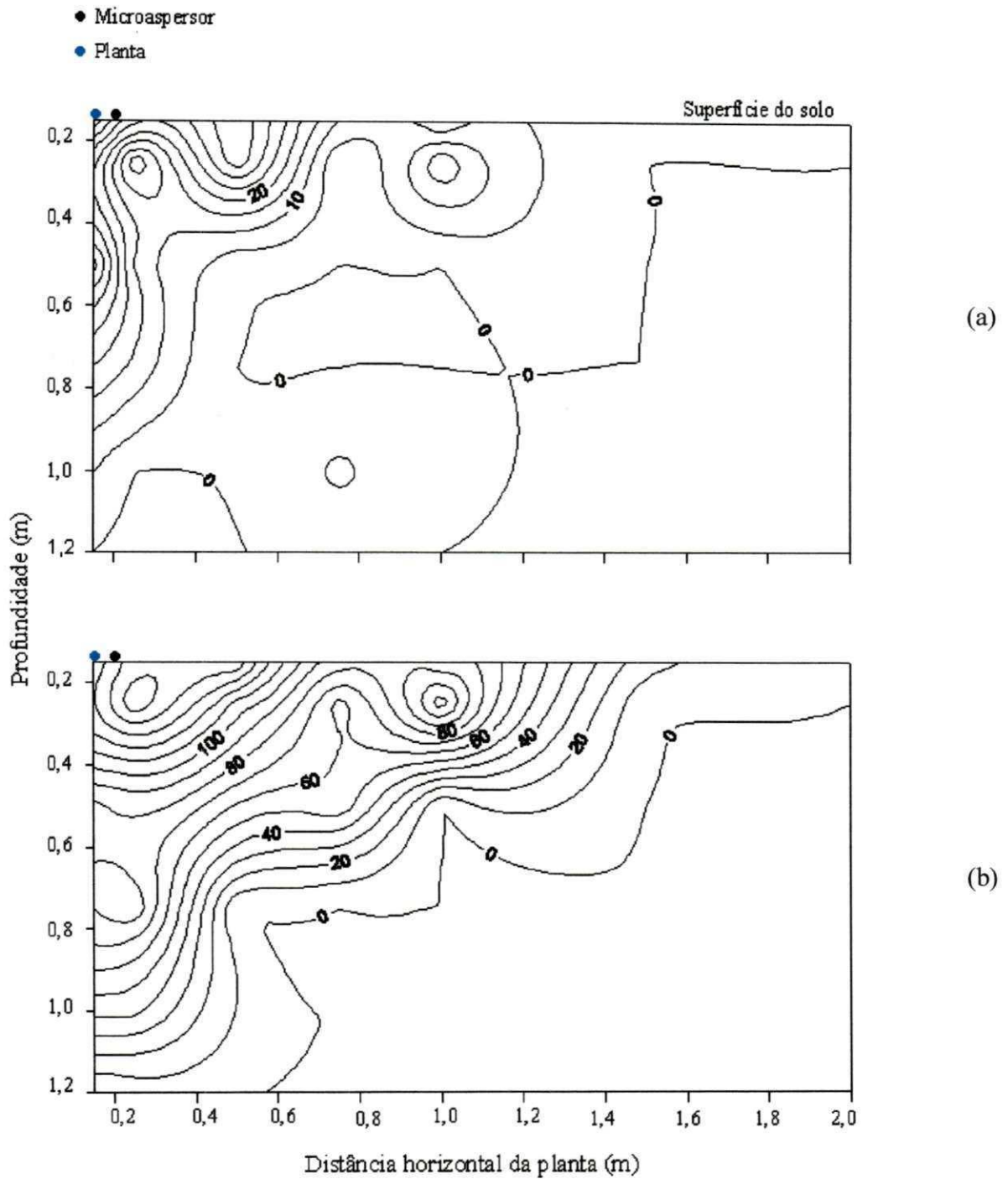


Figura 25 – Isolinhas do teor de água disponível em percentagem, no perfil do solo longitudinal referente a frequência de irrigação de três dias, imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).

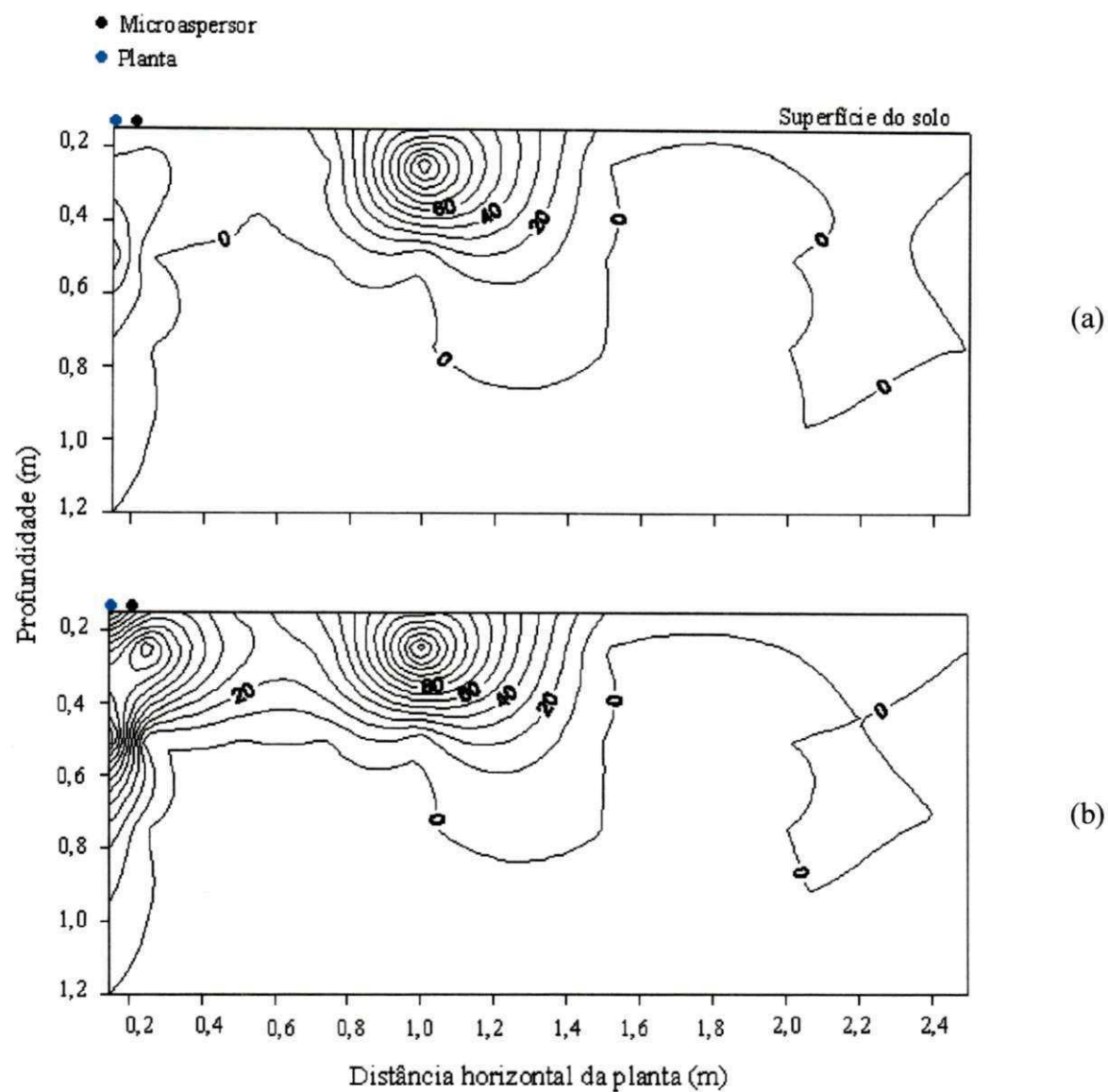


Figura 26 – Isolinhas do teor de água disponível em percentagem, no perfil do solo ortogonal referente a frequência de irrigação de três dias, imediatamente antes da irrigação (a) e uma hora após a irrigação (b).

área entre as quatro plantas, a lâmina que chegará ao pé da planta será menor que aquela que estará próxima do emissor, o que não ocorre no caso da utilização de um microaspersor por planta onde a lâmina mais próxima da planta será maior e a medida que se afasta da planta ela diminui. O aumento do intervalo de irrigação resultou em diferentes extensões do volume molhado do solo tanto em distância horizontal como em profundidade, percebendo-se que a medida que se aumentou o intervalo de irrigação, aumentou também a lâmina de água aplicada, o que era esperado, pois a medida em que aumenta os intervalos de irrigação, aumenta também o tempo de irrigação e, conseqüentemente, o volume de água aplicado, promovendo a infiltração de um maior volume de água no perfil do solo.

#### **4.2 Distribuição do sistema radicular**

##### *Freqüência de irrigação de 01 dia*

No sentido longitudinal a fileira de plantas, a densidade de comprimento de raízes (DCR) foi superior a  $0,2 \text{ cm cm}^{-3}$  para distâncias horizontais inferiores a 1,8 m da planta e profundidades entre 0 e 0,7 m (Figura 27a). Os valores de DCR acima de  $1 \text{ cm cm}^{-3}$  foram encontrados no perfil entre 0 e 0,25 m de profundidade e de 0 - 1,6 m de distância horizontal da planta. No sentido ortogonal, a DCR foi superior a  $0,1 \text{ cm.cm}^{-3}$  para distâncias horizontais inferiores a 2,4 m do tronco e profundidades entre 0 e 0,6 m. Para distâncias horizontais inferiores a 0,4 m e profundidade entre 0 e 1,1 m, a DCR foi superior a  $0,2 \text{ cm cm}^{-3}$ . Uma das razões da redução da DCR na camada superficial do solo nas posições entre 0,25 - 0,75 e 1,0 - 1,5 m de distância horizontal da planta foi porque não houve coleta de raízes nas posições 0,5 e 1,25 m de distância horizontal da planta nas camadas superficiais, visto que na camada superficial (de 0 a 0,25 m do perfil do solo) se concentra a maior quantidade de raízes do perfil. Essa redução é caracterizada para todas as trincheiras das três freqüências avaliadas, pois foram utilizadas as mesmas posições de amostragem.

A Figura 28 ilustra a distribuição das percentagens de comprimento de raízes de diferentes diâmetros, para os perfis ortogonal e longitudinal, para freqüência de irrigação de um dia. No perfil longitudinal as maiores percentagens de raízes finas (0,5 - 2,0 mm) foram encontradas a profundidade de 0 a 0,2 m para distâncias horizontais do tronco de até 0,8 m,

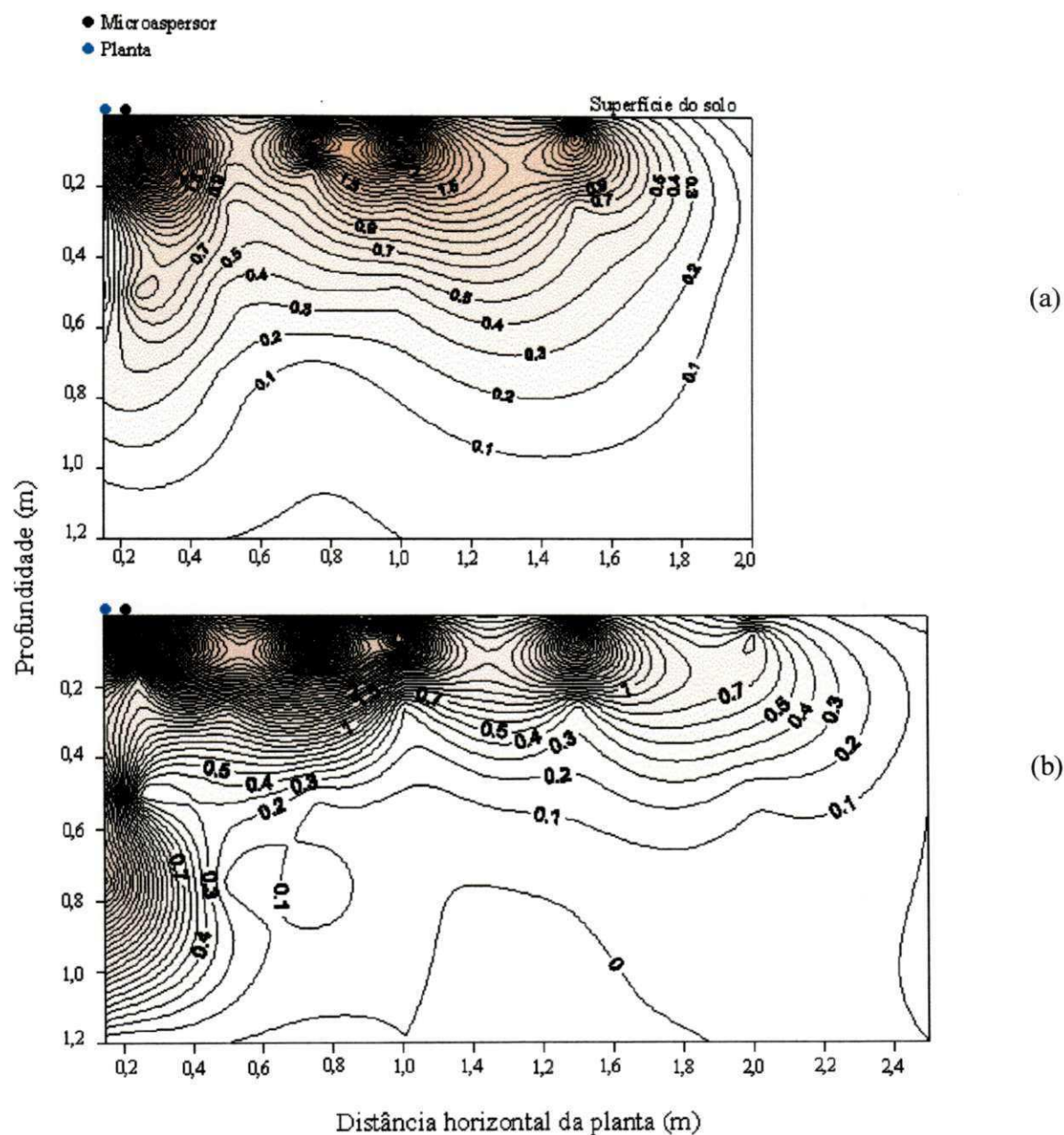


Figura 27 – Distribuição da densidade de comprimento de raízes – DCR ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) nos perfis do solo referentes a frequência de irrigação de um dia, nas direções longitudinal (a) e ortogonal (b) a fileira de plantas.



## Perfil ortogonal a fileira de plantas

## Perfil longitudinal a fileira de plantas

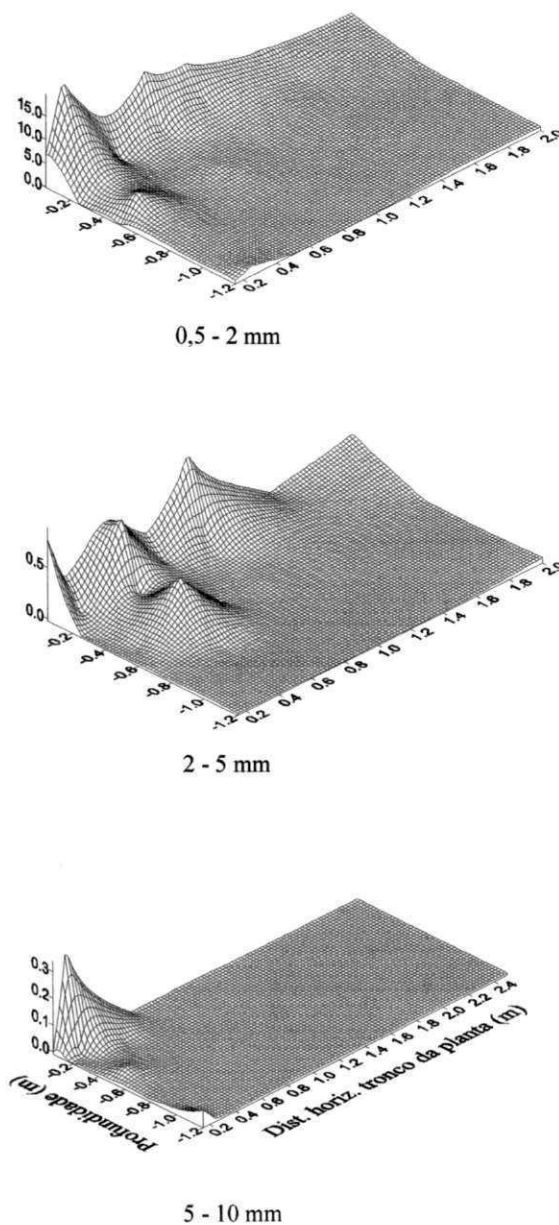
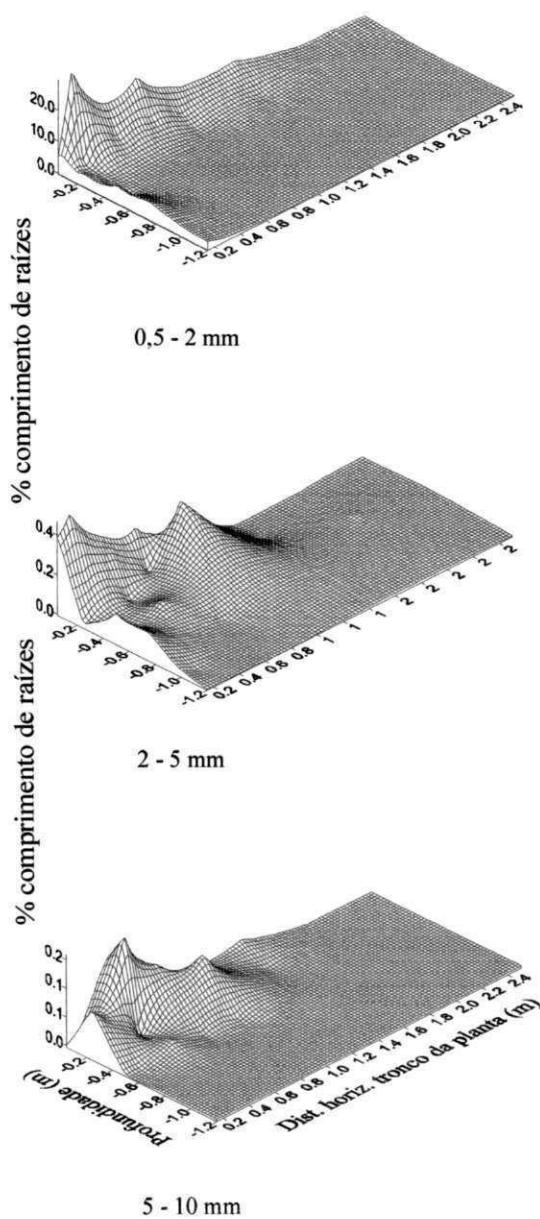


Figura 28 – Percentagem de comprimento de raízes de diferentes diâmetros relativo ao comprimento total de raízes em dois perfis (ortogonal e longitudinal a fileira de plantas) para frequência de irrigação de um dia, tendo a planta na posição (0, 0, 0).

estando dentro do perfil encontrado por Neves & Medina (1999), que, estudando a distribuição de raízes de citros em latossolo roxo, verificaram que cerca de 90% das raízes com diâmetro menor ou igual a 1,5 mm encontravam-se nos primeiros 0,6 m do perfil do solo. As raízes de diâmetro entre 2 e 5 mm encontraram-se com maior incidência na profundidade de 0 à 0,20 m e 1,0 m de distância horizontal, enquanto que as raízes entre 5 e 10 mm foram encontradas à profundidade de 0 a 0,20 m e na distância de 0,4 m horizontal do tronco. No perfil ortogonal, as raízes finas (0,5 - 2 mm) ocorreram até a profundidade de 0,2 m e à distância horizontal inferior a 1,5 m. As raízes de diâmetro entre 2 e 5 mm concentraram-se até 0,2 m de profundidade e a uma distância horizontal da planta de 1 m. As raízes de maior diâmetro (5-10 mm) tenderam a se concentrar a menores distâncias horizontais do tronco.

Com relação a frequência de irrigação de um dia (Figura 29), foi encontrado 82,3% do total de raízes até a profundidade de 0,25 m. Cerca de 85,8% do total de raízes foi encontrado a distância horizontal inferior a 1,0 m da planta. A partir da profundidade de 0,75 m (Figura 29b) e distância de 1,5 m (Figura 29a), as raízes reduziram significativamente com uma contribuição do total de 6,2 e 5,7% respectivamente. No sentido longitudinal a fileira, (Figura 30), 84,7% do total de raízes encontrou-se até a profundidade de 0,25 m e 84,1% do total de raízes até 1,0 m de distância horizontal da planta. Observou-se que, a partir da profundidade de 0,75 m (Figura 30b) e distância de 1,5 m (Figura 30a) as raízes reduziram significativamente com uma contribuição do total de 4,8 e 3,6%, respectivamente. A redução do total de raízes que ocorreu nos dois perfis do solo a partir de 0,75 m de profundidade pode ter sido devido o aumento da densidade do solo (Tabela 1) nessa profundidade, dificultando, assim a penetração das raízes nessa camada de solo, em concordância com diversos autores (Bauder et al., 1981; Mata, 1988; Henderson, 1989), que já haviam observado boas correlações entre a densidade do solo e a resistência à penetração de raízes para umidades próximas a capacidade de campo. A partir de 1,5 m de distância horizontal da planta, a diminuição das raízes pode ser atribuída ao fato de que a faixa de água disponível no perfil do solo diminuiu significativamente a partir dessa distância, favorecendo, dessa forma, a redução do desenvolvimento das mesmas.

### ***Frequência de irrigação de 02 dias***

O sistema radicular para frequência de dois dias (Figura 31), no perfil longitudinal à fileira, apresentou densidade de comprimento de raízes (DCR) superior a  $0,15 \text{ cm cm}^{-3}$  para distâncias horizontais inferiores a 2 m da planta e profundidades entre 0 e 0,4 m. Os maiores valores de DCR se concentraram no perfil entre 0 e 0,2 m de profundidade e 1,7 m de distância horizontal da planta, que estão de acordo com os valores de densidade encontrados por Cintra et al. (1999), que, estudando o comportamento de cinco porta-enxertos para a laranja 'Pêra' em solos de tabuleiro costeiro, verificaram a elevada concentração de raízes nos 0,2 m

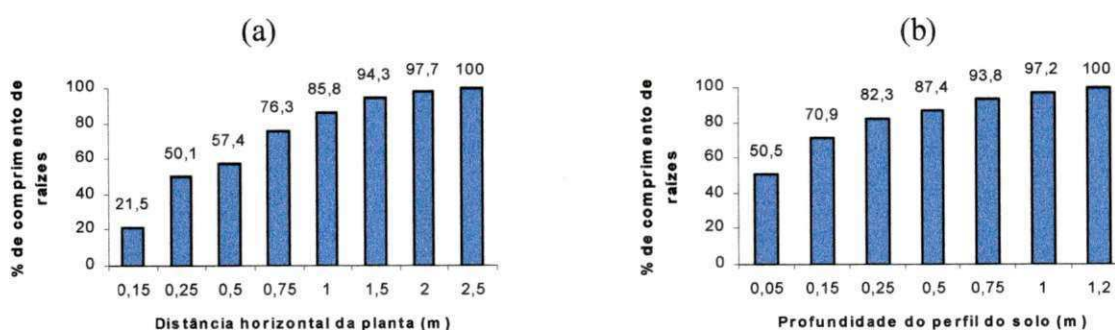


Figura 29 – Distribuição de raízes do citrumelo 'Swingle' sob lima ácida 'Tahiti' no sentido ortogonal, referente a frequência de irrigação de um dia, na distância horizontal em relação a planta (a) e na profundidade do perfil do solo (b).

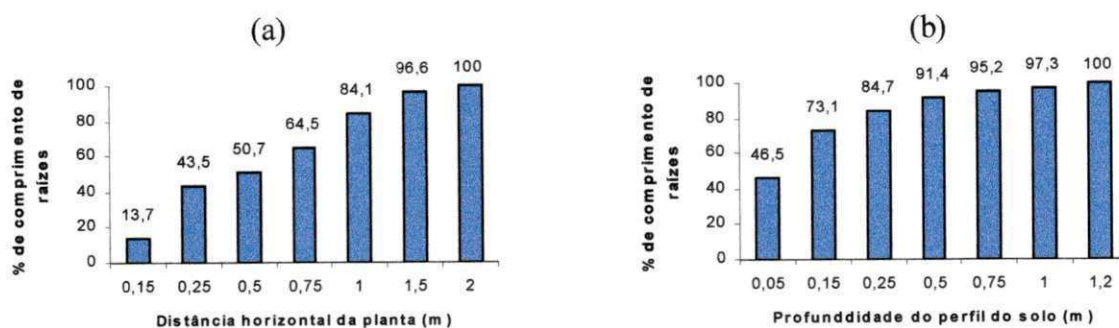


Figura 30 – Distribuição de raízes do citrumelo 'Swingle' sob lima ácida 'Tahiti' no sentido longitudinal, referente a frequência de irrigação de um dia, na distância horizontal em relação a planta (a) e na profundidade do perfil do solo (b).

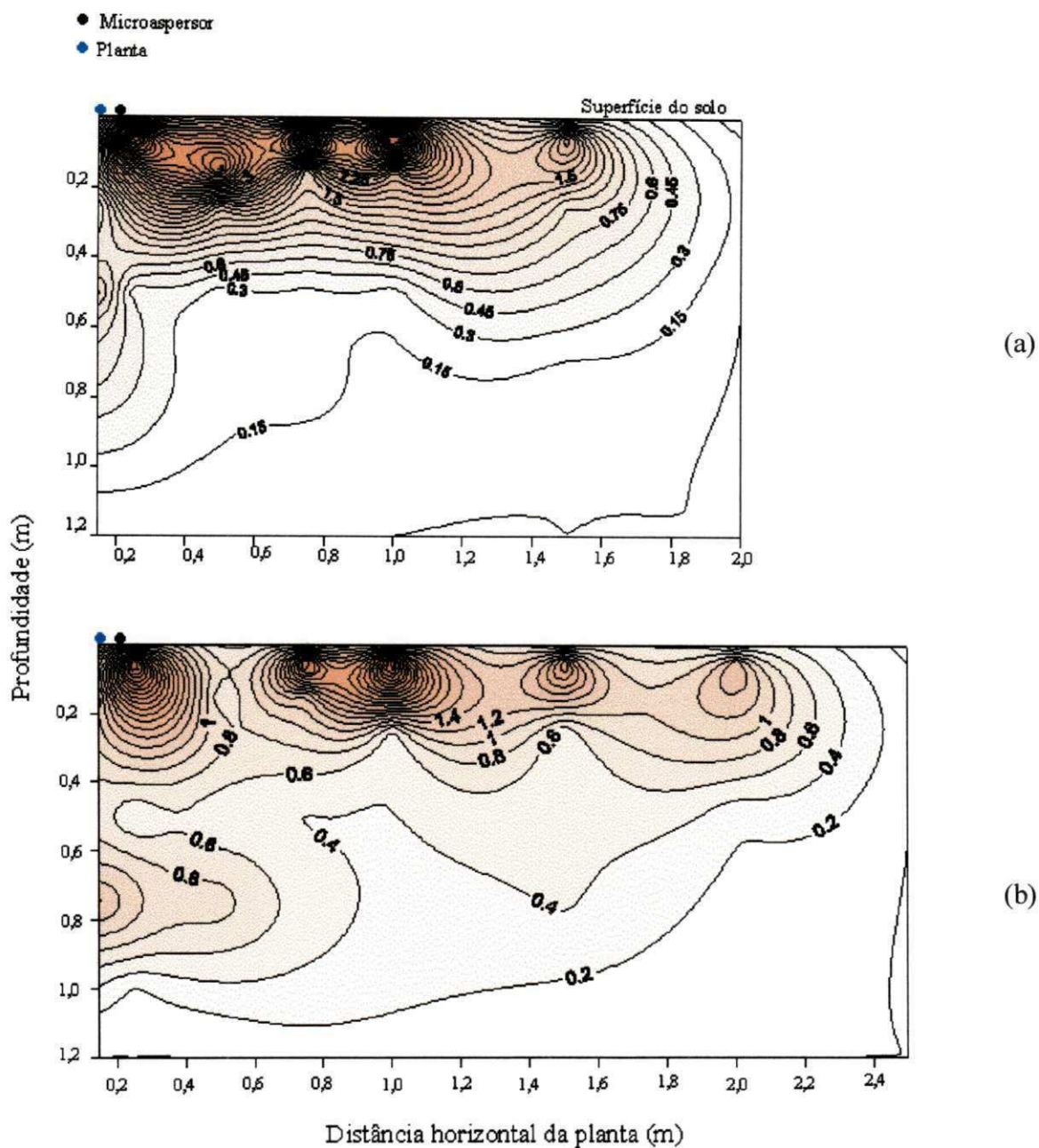


Figura 31 – Distribuição da densidade de comprimento de raízes – DCR ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) nos perfis do solo referentes a frequência de irrigação de dois dias, na direção longitudinal (a) e ortogonal (b) a fileira de plantas.

iniciais da superfície do solo. A Figura 31b demonstra que a DCR foi superior a  $0,18 \text{ cm cm}^{-3}$  para distâncias horizontais inferiores a 2,2 m do tronco e profundidades entre 0 e 0,5 m. No caso de distâncias próximas a 1 m, a DCR foi superior a  $0,18 \text{ cm cm}^{-3}$  para profundidade de 0,30 m. Para distâncias horizontais inferiores a 0,4 m e profundidade entre 0 e 1 m a DCR foi superior a  $0,18 \text{ cm cm}^{-3}$ , com valores acima de  $1 \text{ cm cm}^{-3}$  para distâncias horizontais do tronco iguais ou inferiores a 1,7m e profundidade inferiores a 0,2 m.

A distribuição das percentagens de comprimento de raízes de diferentes diâmetros, para os perfis ortogonal e longitudinal, para frequência de irrigação de dois dias, está ilustrada na Figura 32, onde, no perfil longitudinal, as maiores percentagens de raízes finas (0,5 - 2,0 mm) foram encontradas a profundidade de 0 a 0,2 m para distâncias horizontais do tronco de até 2 m. As raízes de diâmetro entre 2 e 5 mm encontraram-se com maior incidência a profundidade de 0 à 0,20 m e 0,8 m de distância horizontal, enquanto que as raízes entre 5 e 10 mm foram encontradas na profundidade de 0 a 0,20 m e na distância horizontal da planta de 0 - 0,4 m. No perfil ortogonal, as raízes finas (0,5 - 2 mm) ocorreram até a profundidade de 0,2 m e a distância horizontal inferior a 1,5 m. As raízes de diâmetro entre 2 e 5 mm concentraram-se até 0,2 m de profundidade e a uma distância horizontal da planta de 1 m. As raízes de maior diâmetro (5 - 10 mm) tenderam a se concentrar a distâncias horizontais inferiores a 0,8 m da planta.

Como é ilustrado na Figura 33, para frequência de irrigação de dois dias, no sentido ortogonal até a profundidade de 0,25 m, foi encontrado 86,2% do total de raízes. Cerca de 80,8% do total de raízes encontra-se a distância horizontal inferior a 1,0 m da planta. A partir da profundidade de 0,75 m e distância de 1,5 m, as raízes reduziram significativamente com uma contribuição do total de 4,3 e 5,1% respectivamente. Verifica-se na Figura 34, que 87,47% do total de raízes encontra-se até a profundidade de 0,25 m e 78,9% até 1,0 m de distância horizontal da planta. A partir da profundidade de 0,75 m (Figura 34b) e distância de 1,5 m (Figura 34a) as raízes foram reduzidas em 5,2 e 3,3%, respectivamente. Tendo em vista que na região de Iaçu as precipitações pluviométricas giram em torno de 500 a 800 mm ano, associado com os maiores volumes de chuvas ocorrido durante dois a três meses por ano, o fornecimento de água para as culturas se dá basicamente em função da irrigação durante quase todo ano, o que condiciona o desenvolvimento radicular ao bulbo molhado. De acordo Libardi & Lier (1999), a resistência a penetração de raízes aumenta a medida que a tensão nos poros

Perfil ortogonal a fileira de plantas

Perfil longitudinal a fileira de plantas

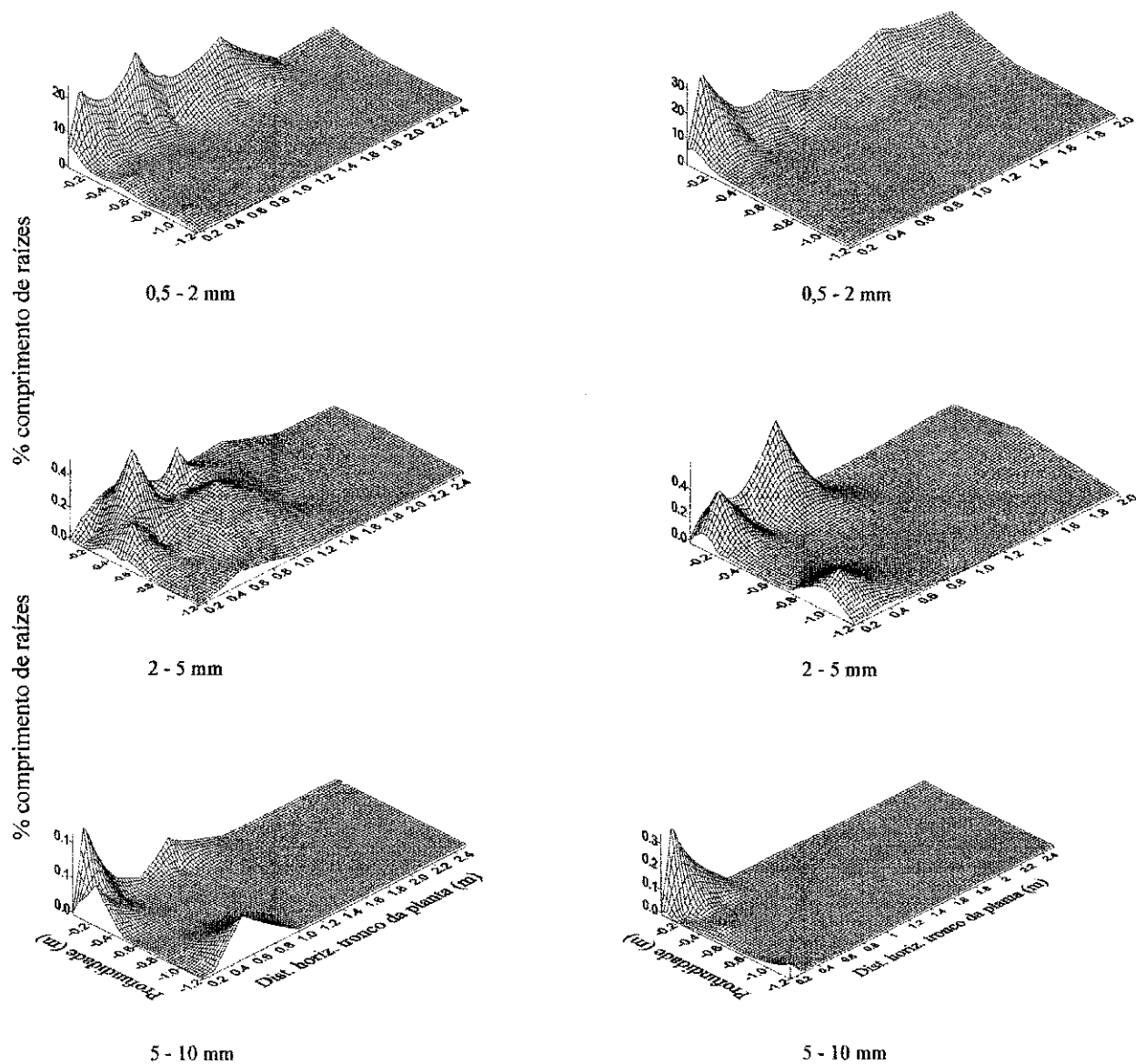


Figura 32 – Percentagem de comprimento de raízes de diferentes diâmetros relativo ao comprimento total de raízes em dois perfis (ortogonal e longitudinal a fileira de plantas) para frequência de irrigação de dois dias, tendo a planta na posição (0, 0, 0).

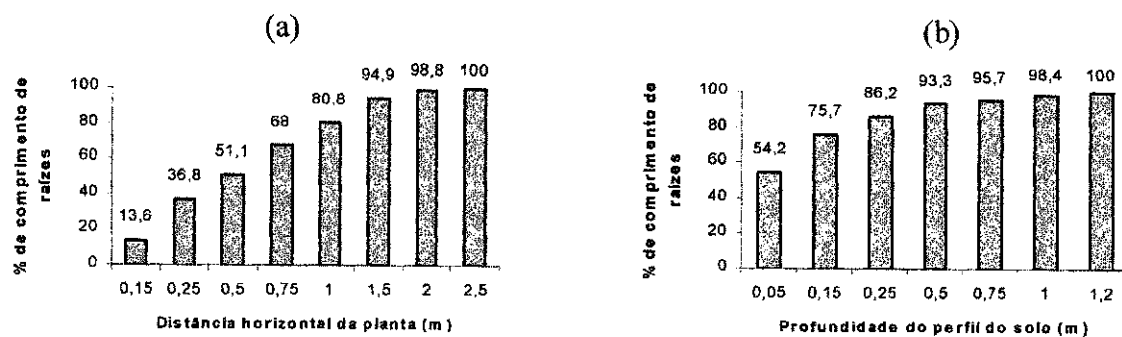


Figura 33 – Distribuição de raízes do citrumelo ‘Swingle’ sob lima ácida ‘Tahiti’ no sentido ortogonal, referente a frequência de irrigação de dois dias, na distância horizontal em relação a planta (a) e na profundidade do perfil do solo (b).

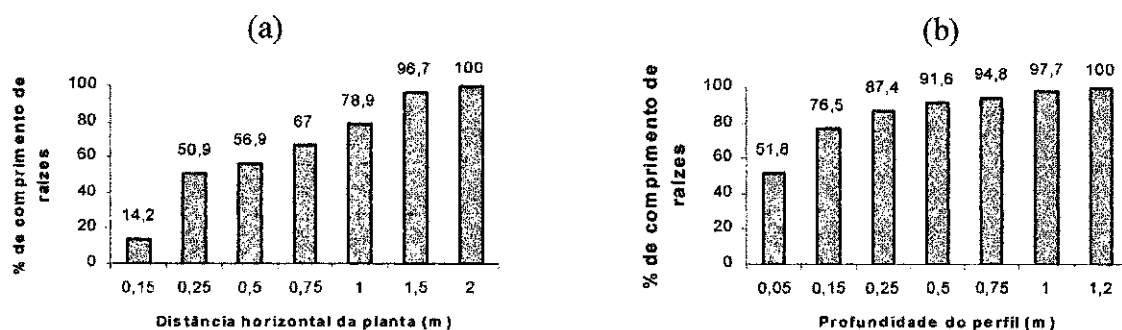


Figura 34 – Distribuição de raízes do citrumelo ‘Swingle’ sob lima ácida ‘Tahiti’ no sentido longitudinal, referente a frequência de irrigação de dois dias, na distância horizontal em relação a planta (a) e na profundidade do perfil do solo (b).

do solo aumenta, diminuindo, assim, a faixa de água disponível do solo. Sendo assim, a redução do total de raízes que ocorreu nos dois perfis do solo, a partir de 0,75 m de profundidade e a 1,5 m de distância horizontal da planta, pode ser atribuída ao fato de que a faixa de água disponível no perfil do solo diminuiu significativamente a partir dessa profundidade e distância.

### *Frequência de irrigação de 03 dias*

O sistema radicular para frequência de irrigação de três dias no perfil longitudinal (Figura 35), apresentou densidade de comprimento de raízes (DCR) superior a  $0,15 \text{ cm cm}^{-3}$  para distâncias horizontais inferiores a 1,9 m da planta e profundidades entre 0 e 0,6 m. Valores de DCR superiores a  $1,5 \text{ cm cm}^{-3}$  se concentraram no perfil entre 0 e 0,2 m de profundidade e de 0-1,5 m de distância horizontal da planta. Nessa região se encontra a maior concentração de raízes do perfil. No sentido ortogonal, a DCR foi superior a  $0,4 \text{ cm cm}^{-3}$  para distâncias horizontais inferiores a 2,3 m do tronco e profundidades entre 0 e 0,4 m. Para distâncias horizontais inferiores a 0,7 m e profundidades entre 0 e 0,9 m, a DCR foi superior a  $0,4 \text{ cm cm}^{-3}$ . Os valores da DCR foram superiores a  $1 \text{ cm cm}^{-3}$  para distâncias horizontais do tronco iguais ou inferiores a 2,1 m e profundidades inferiores à 0,2 m, chegando a 0,3 m para distâncias entre 0 e 0,4 m e entre 1,1 e 1,3 m.

A Figura 36 ilustra a distribuição das percentagens do comprimento total de raízes de diferentes diâmetros, para os perfis ortogonal e longitudinal. No perfil longitudinal, as maiores percentagens de raízes finas (0,5 - 2,0 mm) foram encontradas à profundidade de 0 a 0,2 m para distâncias horizontais do tronco de até 2 m. As raízes de diâmetro entre 2 e 5 mm, encontraram-se com maior incidência a profundidade de 0 a 0,20 m e distância horizontal da planta inferiores a 1,6 m. As raízes entre 5 e 10 mm foram encontradas na profundidade de 0 a 0,4 m e a distâncias horizontais da planta inferiores a 0,3 m. No perfil ortogonal, as raízes finas (0,5 - 2 mm) ocorreram até a profundidade de 0,2 m para distância horizontal inferior a 1,5 m. As raízes de diâmetro entre 2 e 5 mm concentraram-se até 0,8 m de profundidade e a uma distância horizontal da planta entre 0,4 e 1 m. As raízes de maior diâmetro (5 - 10 mm) tenderam a se concentrar a distâncias horizontais inferiores a 0,8 m da planta.

Observa-se na Figura 37, que 83,6% do total de raízes encontra-se até a profundidade de 0,5 m. Cerca de 85,9% do total de raízes se encontra a distância horizontal inferior a 1,5 m da planta. A partir da profundidade de 0,75 m e distância de 2 m, as raízes são reduzidas significativamente em 6,7 e 4,5%, respectivamente. Como pode ser verificado na Figura 38, 86,5% do total de raízes encontra-se até a profundidade de 0,25 m, enquanto que até 1,0 m de



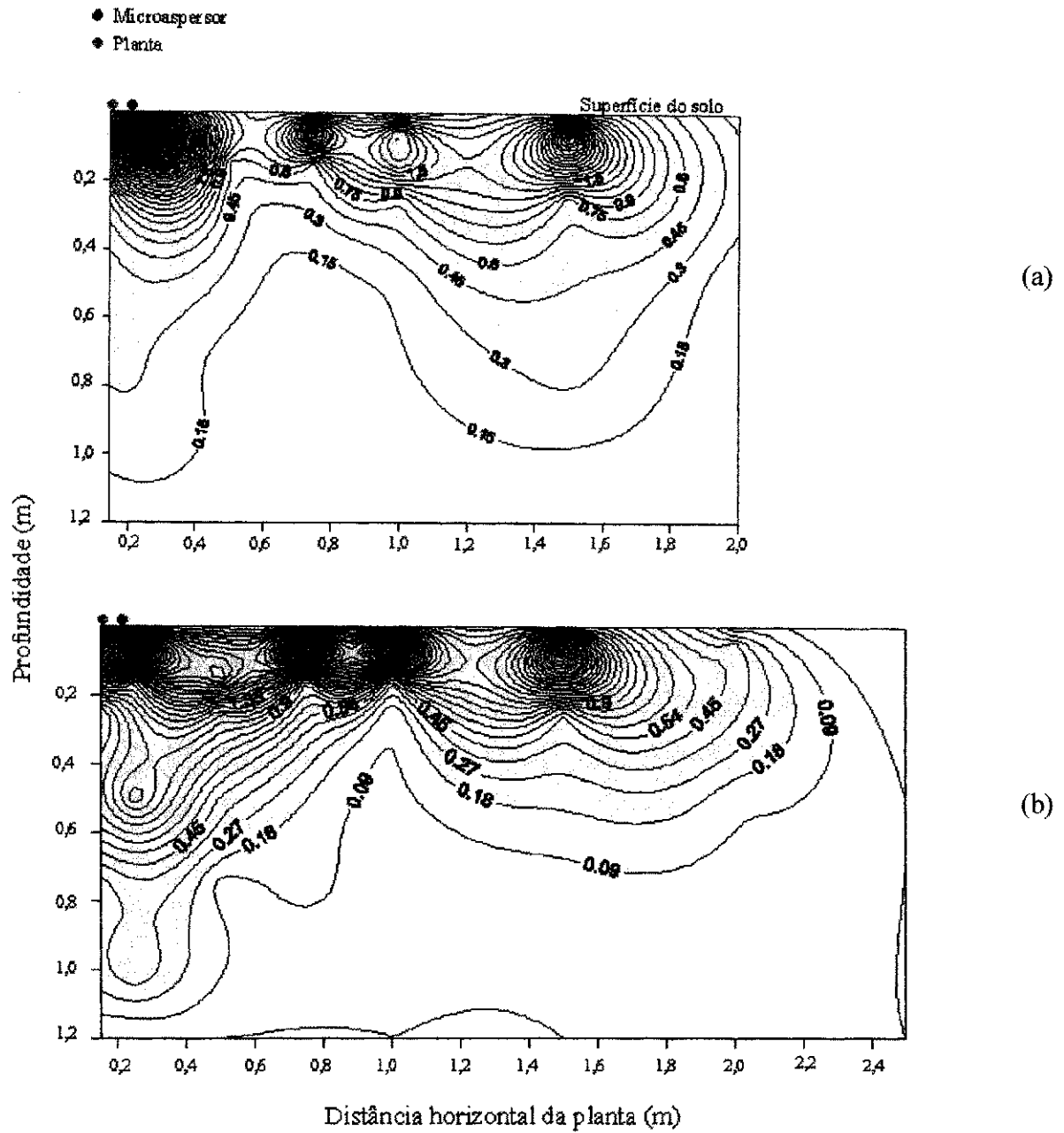
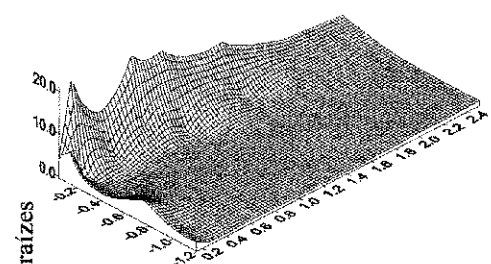


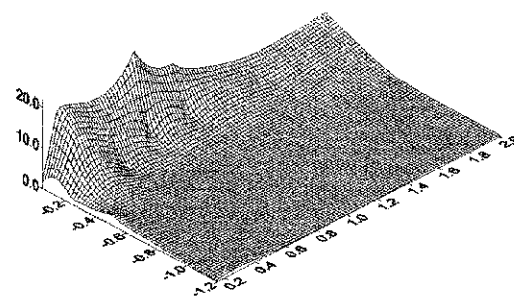
Figura 35 – Distribuição da densidade de comprimento de raízes – DCR ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) nos perfis do solo, referentes a frequência de irrigação de três dias, nas direções longitudinal (a) e ortogonal (b) a fileira de plantas.

Perfil ortogonal a fileira de plantas

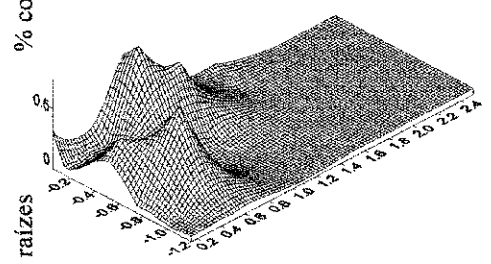
Perfil longitudinal a fileira de plantas



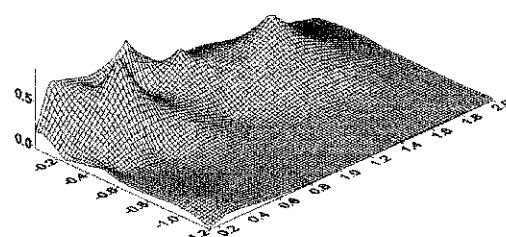
0,5 - 2 mm



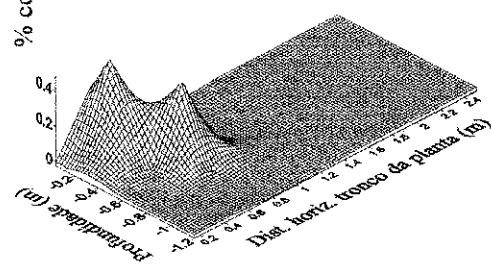
0,5 - 2 mm



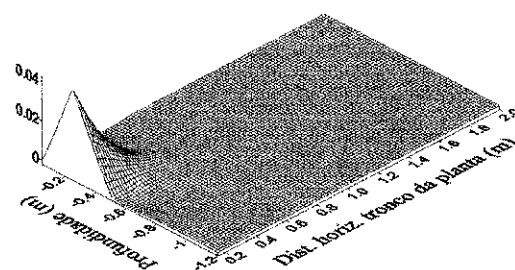
2 - 5 mm



2 - 5 mm



5 - 10 mm



5 - 10 mm

Figura 36 – Percentagem de comprimento de raízes de diferentes diâmetros relativo ao comprimento total de raízes em dois perfis (ortogonal e longitudinal a fileira de plantas) para frequência de irrigação de três dias, tendo a planta na posição (0, 0).

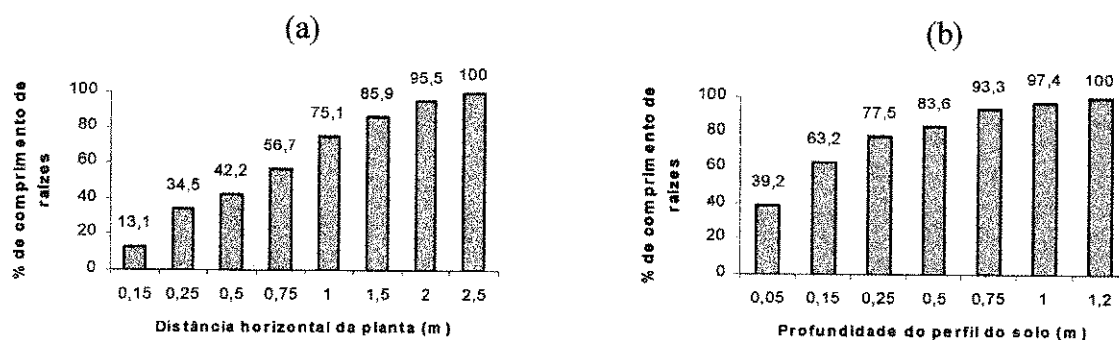


Figura 37 – Distribuição de raízes do citrumelo ‘Swingle’ sob lima ácida ‘Tahiti’ no sentido ortogonal, referente a frequência de irrigação de três dias, na distância horizontal em relação a planta (a) e na profundidade do perfil do solo (b).

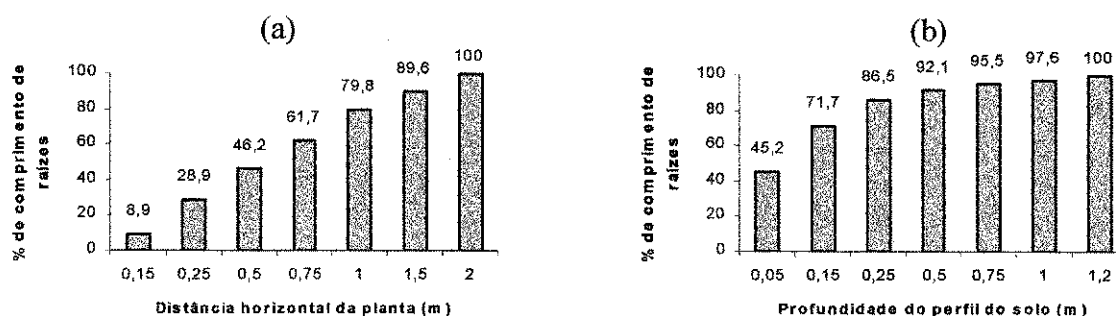


Figura 38 – Distribuição de raízes do citrumelo ‘Swingle’ sob lima ácida ‘Tahiti’ no sentido longitudinal, referente a frequência de irrigação de três dias, na distância horizontal em relação a planta (a) e na profundidade do perfil do solo (b).

distância horizontal da planta, encontra-se 79,8% do total de raízes. A partir da profundidade de 0,75 m e distância de 1,5 m as raízes são reduzidas significativamente em 4,6 e 10,5%, respectivamente. Essa redução do total de raízes que ocorreu nos dois perfis do solo, a partir de 0,75 m de profundidade, pode ter sido devido o aumento da densidade do solo (Tabela 1) nessa profundidade, o que dificultou a penetração das raízes nessa camada do perfil. A redução das raízes a 1,5 e 2,0 m de distância horizontal da planta para os perfis ortogonal e longitudinal, respectivamente, pode ser atribuída ao fato de que a faixa de água disponível no

perfil do solo diminui significativamente a partir dessa profundidade e distâncias diminuindo a concentração de raízes a nessas distâncias.

Nos perfis avaliados para as freqüências de irrigação de um e dois dias, houve coincidência na localização das regiões com valores de DCR superiores a  $1 \text{ cm cm}^{-3}$ , em profundidade e distância, tanto na direção longitudinal como na ortogonal. Já na freqüência de três dias, as raízes se estenderam um pouco mais na direção horizontal a planta, possivelmente para aproveitar melhor a lâmina de água, visto que a medida que aumentou o intervalo de irrigação aumentou a área subsuperficial molhada. Houve coincidência entre as regiões de maiores valores de DCR e as regiões de maior percentagem de raízes com diâmetro entre 0,5 e 2 mm, consideradas as maiores responsáveis pela atividade de absorção de água e nutrientes. Resultados semelhantes foram encontrados por Coelho et al., (2001), avaliando distribuição do sistema radicular de mangueira sob irrigação.

Com base na distribuição do sistema radicular do porta-enxerto citrumelo 'Swingle' sob lima ácida 'Tahiti', a profundidade efetiva das raízes (Pe), que foi definida por Bernardo (1982) como sendo a profundidade a partir da superfície do solo onde se localiza 80% do total de raízes, coincidiu para as freqüências de irrigação de um, dois e três dias, que foi de 0,25 m nos sentidos longitudinal e ortogonal a fileira de plantas. A Pe foi de 0,25 m para freqüências de irrigação de um e dois dias e 0,5 m para freqüência de irrigação de três dias, discordando de Doorenbos & Pruitt (1975), que citam uma profundidade efetiva de 1,2 a 1,5 m para citros. A distância efetiva das raízes (De), definida por Vieira (1996) como sendo a distância a partir da planta em que se localiza 80% do total de raízes. A De se localizou a 1 m da planta para as três freqüências de irrigação no sentido longitudinal a fileira. No sentido ortogonal, para as freqüências de um e dois dias, a De localizou-se a 1 m da planta e para freqüência de três dias a 1,5 m da planta, estando de acordo com Machado & Coelho (1999) que verificaram que a De do limoeiro 'Cravo' sob lima ácida 'Tahiti' está entre 50 e 75% do raio da projeção da copa, que, para o presente estudo, corresponde a 1 e 1,25 m a partir da planta.

Sendo assim a Pe e De não dependem só do tipo e da idade da cultura, sua precisa definição requer amostragem do sistema radicular pelos diversos métodos citados na literatura e deve-se esperar uma variação do sistema radicular em uma mesma região ou de uma região para outra, devido ao clima, às características físicas do solo, ao tipo de sistema de irrigação, às características e posição do emissor e à freqüência de irrigação.

No geral, para as três frequências de irrigação de um, dois e três dias, a distribuição de raízes no perfil longitudinal à fileira foi limitada pela distância horizontal do tronco de 2,0 m e pela profundidade de 1,2 m. No perfil ortogonal, a fileira de plantas foi limitada pela distância horizontal do tronco de 2,5 m e pela profundidade de 1,2 m.

#### **4.3 Estimativa da extração de água do solo pelas raízes**

A estimativa da extração de água do solo pelo sistema radicular, relativa ao período entre as irrigações, foi computada pela Equação 5, cujas umidades foram obtidas das sondas de TDR instaladas nos perfis longitudinal e ortogonal a fileira de plantas. Assegurou-se que a diferença entre as umidades após a irrigação e antes da próxima irrigação como a extração da água pelas raízes da planta, uma vez que a evaporação de água do solo foi eliminada pela cobertura do solo e praticamente não houve perda de água abaixo de 1,2 m do perfil do solo, pois verifica-se nos perfis amostrados (Figura 39), que a umidade variou de 0,04 a 0,12  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  demonstrando que praticamente não houve percolação, visto que a umidade mínima de água disponível para a planta foi de 0,1 a 0,11  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ .

##### ***Frequência de irrigação de 1 dia***

A Figura 40 ilustra a extração de água do solo pelo sistema radicular da cultura (ESR) para a frequência de irrigação de um dia. No perfil longitudinal, a ESR foi abrangente para distâncias horizontais a planta inferiores a 0,7 m e profundidade até 0,8 m. Os maiores valores de extração situaram-se à distâncias horizontais do tronco próximas de 0,3 m e profundidade de 0,5 m. No sentido ortogonal, a ASR se localiza com maior intensidade na profundidade de 0,5 - 1,2 m e a distância horizontal da planta até 0,5 m.

Analisando conjuntamente as Figuras (13, 14, 15, 16 e 40), observa-se que, nos sentidos ortogonal e longitudinal a fileira de plantas as raízes conseguem extrair água do solo

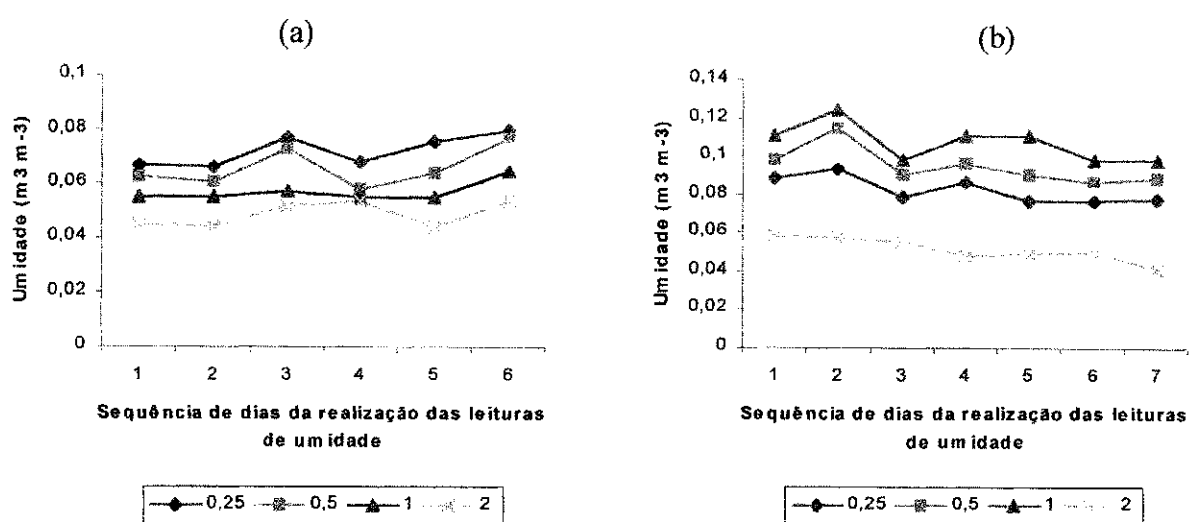


Figura 39 – Representação da variação do teor de umidade no perfil do solo para os intervalos entre as leituras, na profundidade de 1,2 metro nas posições de 0,25; 0,5; 1; 2 metros de distância horizontal em relação a planta, nos perfis longitudinal (a) e ortogonal (b) a fileira de plantas.

até umidade em torno de  $0,10 m^3 m^{-3}$ , que coincidiu com o teor de umidade do mínimo na faixa de água disponível do solo (ponto de murcha permanente).

### *Frequência de irrigação de 2 dias*

Observa-se na Figura 41 que a extração de água do solo pelo sistema radicular (ESR), no período entre duas irrigações, para a frequência de irrigação de dois dias, no sentido longitudinal a fileira, se localizou a distâncias horizontais a planta inferiores a 0,7 m, e na profundidade até 0,4 m. Para distâncias horizontais a planta inferiores a 0,5 m, a ESR foi verificada até a profundidade de 1 m. No perfil ortogonal, a ESR foi mais abrangente na profundidade de 0 a 0,8 m e na distância horizontal da planta de 1,2 m. A região de maior ESR para os dois perfis se situou a distância de 0,5 m horizontal da planta e a 0,5 m de profundidade.

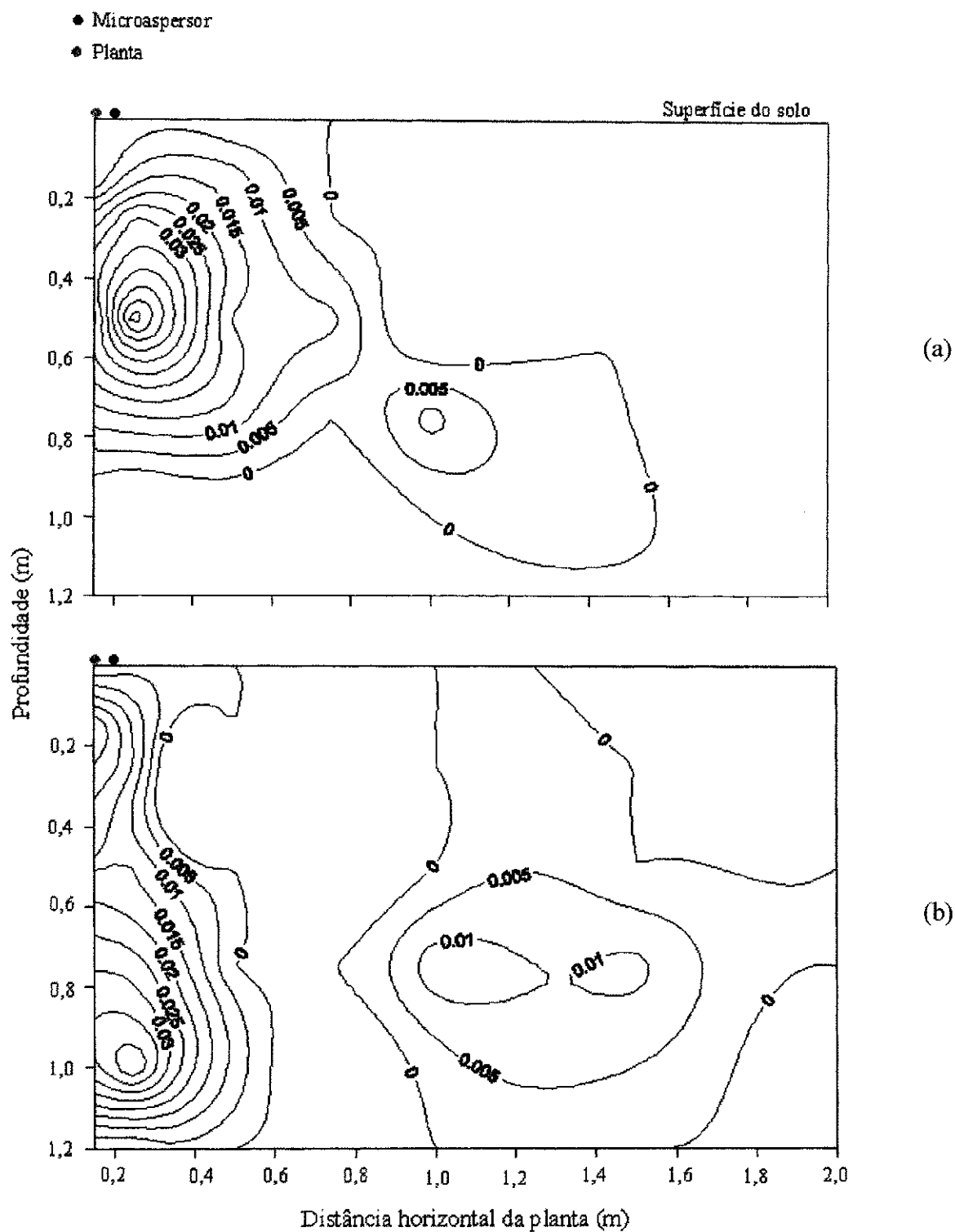


Figura 40 – Estimativa da extração de água do solo pelo sistema radicular da cultura – ESR – ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), referente a frequência de irrigação de um dia, nas direções longitudinal (a) e ortogonal (b) à fileira de plantas.

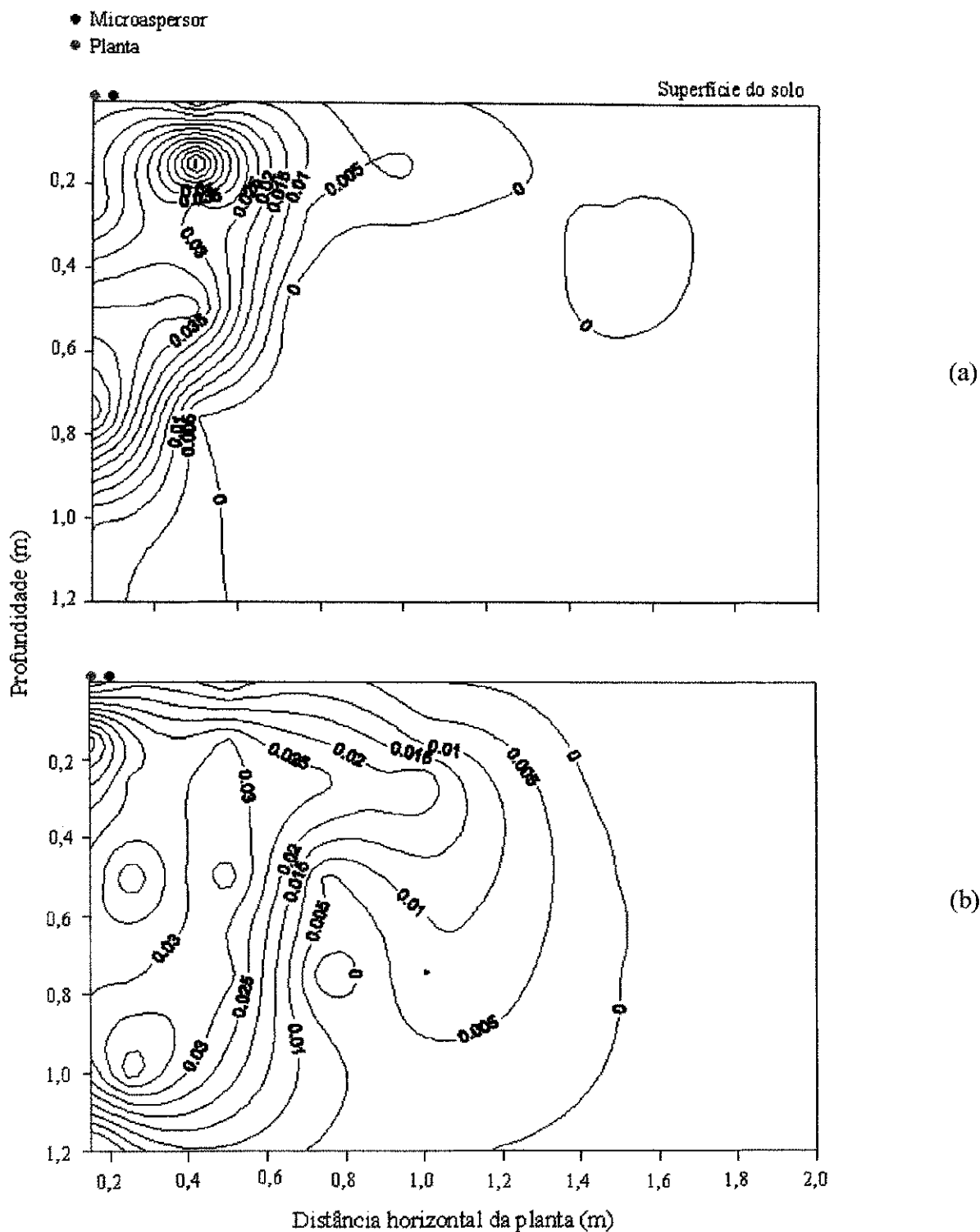


Figura 41 – Estimativa da extração de água do solo pelo sistema radicular da cultura – ESR – ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), referente a frequência de irrigação de dois dias, nas direções longitudinal (a) e ortogonal (b) à fileira de plantas.



Analisando conjuntamente as Figuras (18, 19, 20, 21 e 41), verifica-se que, no sentido ortogonal à fileira de plantas, a extração de água do solo pelo sistema radicular ocorre até umidade próxima a  $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . No sentido longitudinal, as raízes conseguem extrair água até umidade gravimétrica em torno de  $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , que coincidiu com o teor de umidade mínima na faixa de água disponível (ponto de murcha permanente) no perfil do solo.

### ***Frequência de irrigação de 3 dias***

Verifica-se através da Figura 42 que a extração de água do solo pelo sistema radicular (ESR) no sentido longitudinal se localizou a distâncias horizontais da planta inferiores a 1,5 m e profundidade até 0,5 m. Para distâncias horizontais a planta inferiores a 0,5 m, a ESR foi verificada até a profundidade de 1,1 m. No perfil ortogonal, a ESR se localizou na profundidade de 0 a 0,5 m e na distância horizontal da planta de 0 - 1,2 m.

No sentido ortogonal para frequência de irrigação de três dias, analisando as Figuras (23, 24, 25, 26, 42) verifica-se que a extração de água do solo pelo sistema radicular ocorre até umidade gravimétrica próxima a  $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . No sentido longitudinal as raízes conseguem extrair água até umidade em torno de  $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , que coincide com o teor de umidade mínima na faixa de água disponível no solo.

Observa-se pelos gráficos de isolinhas do teor de água disponível no perfil do solo que a faixa de água disponível antes da irrigação para as três frequências de irrigação ocupam a região no perfil do solo semelhante a ocupada depois da irrigação, com a diferença de que antes da irrigação a disponibilidade de água no solo diminuiu em valores, o que pode ser atribuído ao processo de extração de água do solo pelo sistema radicular da planta.

Oliveira & Martins (1966) verificaram em diversos solos da região Nordeste que a utilização do feijão 'Caupi' como planta utilizada para determinar o ponto de murcha permanente induz à obtenção de valores de umidade inferiores aos encontrados a  $-1,500 \text{ Mpa}$  de potencial matricial e concluíram, desta forma, que o valor do conteúdo de água a  $1,5 \text{ Mpa}$  está dentro da faixa de água disponível para essas plantas.

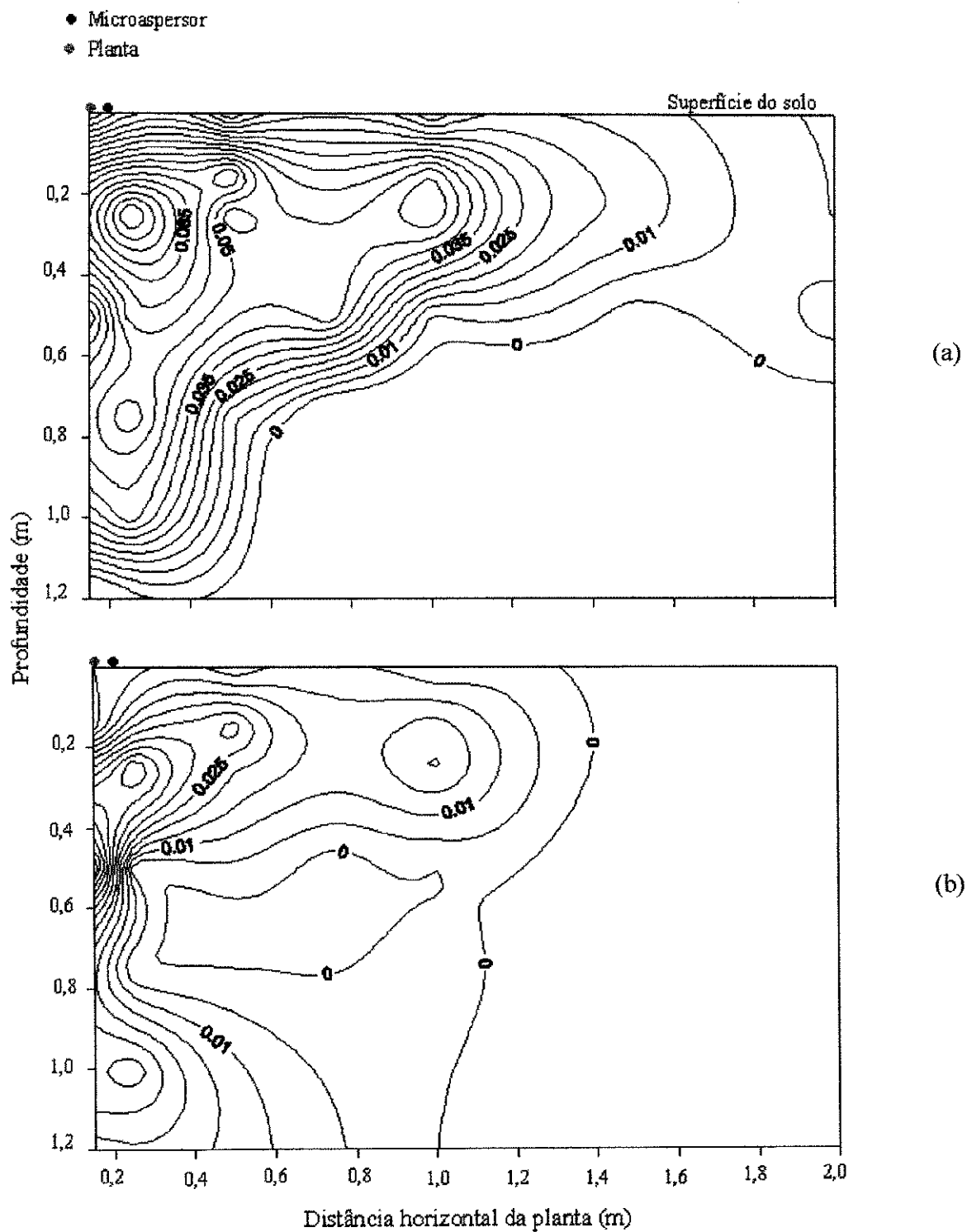


Figura 42 – Estimativa da extração de água do solo pelo sistema radicular da cultura – ESR – ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), referente a frequência de irrigação de três dias, nas direções longitudinal (a) e ortogonal (b) a fileira de plantas.

Como pôde ser observado para as três freqüências de irrigação, a umidade mínima na qual as raízes conseguem extrair água do solo está entre 0,10 e 0,11  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  e o limite mínimo de umidade na qual a água ainda se encontra disponível está entre 0,10 e 0,11  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , que coincide com a umidade mínima de extração, o que implica dizer que o porta enxerto citrumelo 'Swingle' sob lima ácida 'Tahiti' consegue extrair água do solo a níveis baixos de disponibilidade.

Como foi sugerido por Bernardo (1982) e Vieira (1996), que a profundidade efetiva do sistema radicular ( $P_e$ ) e a distância efetiva do sistema radicular ( $D_e$ ), seriam respectivamente, os limites do perfil do solo onde se encontra 80% do total de raízes em relação a distância horizontal da planta e 80% do total de raízes em relação profundidade a partir da superfície do solo. Assim, sugere-se que a profundidade efetiva de extração de água do solo pelo sistema radicular ( $P_{Ee}$ ) seja a região do perfil do solo a partir da superfície na qual se encontra pelo menos 80% do total de extração de água do solo pelas raízes e a distância efetiva de extração de água do solo pelo sistema radicular ( $D_{Ee}$ ) seria a região do perfil do solo a partir do pé da planta onde se encontra pelo menos 80% do total de extração de água do solo pelas raízes da cultura. As regiões de maior atividade do sistema radicular é onde se localiza a maior variação de água do perfil, em função do tempo, ou seja onde estará sendo extraído a água para suprir a evapotranspiração.

O aumento da área efetiva de ESR ocorreu a medida que aumentou o intervalo entre os eventos de irrigação, podendo ser atribuído ao aumento da disponibilidade de água depois da irrigação, observada por meio das isolinhas dos perfis do solo antes e depois da irrigação. No caso da freqüência de irrigação de um dia, os valores da disponibilidade de água observados nas isolinhas antes da irrigação quando comparados com os valores depois da irrigação (Figuras 4 e 5) obtêm-se uma estreita relação entre esses valores quando comparados com os valores referentes a disponibilidade de água antes e depois da irrigação para freqüência de irrigação de três dias (Figuras 20 e 21), o que implica em dizer que a variação do teor umidade na faixa de água disponível antes e depois da irrigação aumenta a medida que aumenta o intervalo de irrigação.

Em função dos resultados apresentados, observa-se que a medida que se afasta do microaspersor, há redução da atividade do sistema radicular. Estes resultados dão suporte para identificar o centro de extração de água pelas raízes, que pode ser verificado determinando-se

a ESR. Estas informações podem ser muito úteis em manejo de irrigação, não só no que se refere a antecipação do conhecimento de quando e de quanto de água aplicar, mas também para definir zonas para melhor monitoramento de água do solo, por sensores de potencial matricial ou de umidade. Tais informações tem utilidade também no estudo de distribuição de solutos e nutrientes via água de irrigação, uma vez que a absorção de água e nutrientes ocorre a um só tempo.

Observando os gráficos de percentagem de comprimento de raízes de diferentes diâmetros (Figuras 27, 31 e 35), verifica-se que as maiores concentrações de raízes com relação a profundidade do perfil foram encontradas na região superficial do solo de 0 - 0,25 m, e é nessa região que encontra-se as maiores concentrações de raízes de 0,5 - 2 mm, o que implica dizer que essa classe de raízes possui a maior concentração dentre as outras no perfil do solo, podendo-se deduzir que as raízes de 0,5 - 2 mm de diâmetro foram as maiores responsáveis pela extração de água e nutrientes do solo.

#### **4.4 Aplicações práticas**

##### **4.4.1 Profundidade e distância efetiva do sistema radicular**

As distribuições de raízes avaliadas nas três frequências de irrigação dão subsídio para definir as regiões do solo mais propícias tanto para aplicação de fertilizantes como para instalação de sensores de água do solo para monitoramento da irrigação. Sendo assim, as posições mais adequadas para instalação dos sensores de água do solo, com base na distribuição do sistema radicular tanto na direção longitudinal como ortogonal à fileira de plantas de lima ácida 'Tahiti' de 5 anos, irrigada por microaspersão no pé da planta, situa-se entre 0 e 0,25 m de profundidade e a distâncias horizontais de 0 a 1,6 m da planta, principalmente as distâncias próximos de 1 m.

Através dos resultados obtidos do total de percentagem de raízes e da extração total de água pelo sistema radicular para as três frequências de irrigação, constatou-se que a distribuição do sistema radicular funciona como uma ferramenta para auxiliar o manejo de irrigação. Mas não por si só pode fornecer informações necessárias para realizar um manejo eficiente da irrigação assim como identificar as regiões onde poderá instalar sensores de umidade para

monitoramento da irrigação, pois é necessário levar em conta a variação de água do solo em função da extração de água pelas raízes, identificando qual a região do solo que apresenta maior atividade do sistema radicular, uma vez que considerando-se apenas a distribuição do sistema radicular estaria se extrapolando regiões do perfil do solo para aplicação da lâmina bruta de água de irrigação, para instalação de sensores de umidade e para aplicação de fertilizantes, que não estariam condizendo com a extração de água pelas raízes. Assim, para distâncias horizontais à planta, estaríamos ampliando a região de instalação dos sensores e, com relação à profundidade a partir da superfície do solo, estaríamos reduzindo a região para instalação dos sensores.

#### **4.4.2 Escolha de emissores**

O conhecimento da distribuição de água e raízes no solo, bem como a sua extração tem implicações importantes na escolha do microaspersor.

O emissor que foi utilizado no experimento resultou em um raio de 2,5 m e uma vazão média de 38 L h<sup>-1</sup>, se sua vazão fosse aumentada para 70 L h<sup>-1</sup> o seu raio de alcance aumentaria, e possivelmente a área subsuperficial também, o que iria aumentar a área com água disponível no perfil do solo e, conseqüentemente, a área de extração pelo sistema radicular da cultura. Isso significa que se o produtor quisesse explorar melhor a área disponível para o sistema radicular da planta teria que aumentar o raio de ação do microaspersor, o que poderia ocasionar numa maior extração de água e nutrientes pelas raízes, podendo assim resultar numa maior produtividade.

Se o produtor optar por um microaspersor de vazão de 20 L h<sup>-1</sup> e raio de alcance de 2 m, a área superficial iria diminuir e provavelmente a área subsuperficial também, diminuindo assim a área de disponibilidade de água no perfil do solo e a área de extração pelo sistema radicular da cultura, ocasionando uma menor área explorada pelo sistema radicular no perfil do solo.

No caso da utilização de um emissor para duas ou quatro plantas, em culturas tais como banana e mamão, que têm menor espaçamento, há necessidade de se avaliar a vazão e o raio de alcance do emissor e o uso de espaçamento em fileira dupla o que irá favorecer o desenvolvimento dessas culturas comparadas a fileiras simples, uma vez que na fileira dupla

tem-se mais segurança de que a região que está próxima das plantas está sendo umedecida suficiente para permitir a extração de água e nutrientes pelas raízes.

#### **4.4.3 Posicionamento de sensores de água do solo**

Os locais mais indicados para instalar os sensores são as regiões do perfil do solo onde ocorre as maiores variações de umidade ocasionadas pela extração de água do solo através do sistema radicular da planta, estando essas regiões associadas aos locais de maior concentração de raízes absorventes, que correspondem a área de extração efetiva. A partir dessas informações, pode-se obter subsídio dos locais de instalação de sensores para monitoramento da umidade do solo, pois o local de maior variação da umidade possivelmente será logo detectado pelo sensor, que irá fornecer num tempo mais preciso a reposição da água no caso de manejo de irrigação. A maior variação de umidade ocorre nas posições de maior atividade das raízes que coincide com regiões do volume molhado de mais altas oscilações no potencial matricial nas posições mais próximas do emissor, devido a influência da extração de água pelas raízes nestas posições (Coelho e Or 1999).

Sendo, assim, para a frequência de irrigação de um dia, sugeriu-se que a posição mais adequada para instalação de sensores para o monitoramento da água no solo para fins de manejo de irrigação, no sentido longitudinal a planta foi de 0 - 0,5 m de profundidade e 0 - 0,4 m de distância horizontal da planta, visto que (Figura 43) a PEe atinge 0,5 m e a DEe 0,39 m da planta. No perfil ortogonal, as posições mais adequadas para instalação dos sensores é 0 - 0,9 m de profundidade e 0 - 0,25 m de distância horizontal da planta, visto que (Figura 44) a PEe chega a atingir 0,91 m e a DEe alcança até 0,23 m da planta.

As posições mais adequadas para instalação de sensores para o monitoramento da água no solo para frequência de irrigação de dois dias, no sentido longitudinal à fileira é de 0 - 0,5 m de profundidade e 0 - 0,45 m de distância horizontal da planta, pois, observando-se a Figura 45, verifica-se que a PEe atinge a profundidade de 0,52 m e a DEe alcança distâncias até 0,45 m da planta. No perfil ortogonal as posições mais indicadas para instalação dos sensores é 0 - 0,7 m de profundidade e 0 - 0,5 m de distância horizontal da planta, visto que (Figura 46) a PEe chega a atingir 0,7 m e a DEe chega até 0,5 m da planta.

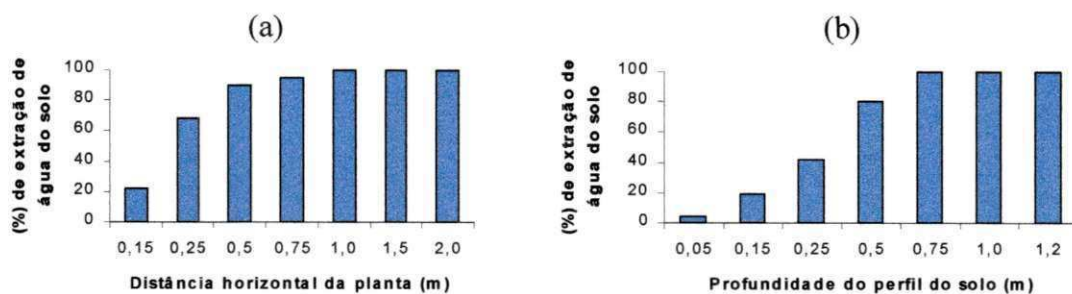


Figura 43 – Extração total de água pelo sistema radicular no perfil longitudinal a fileira de plantas referente a frequência de irrigação de um dia, em relação a distância horizontal em relação a planta (a) e profundidade do perfil do solo (b).

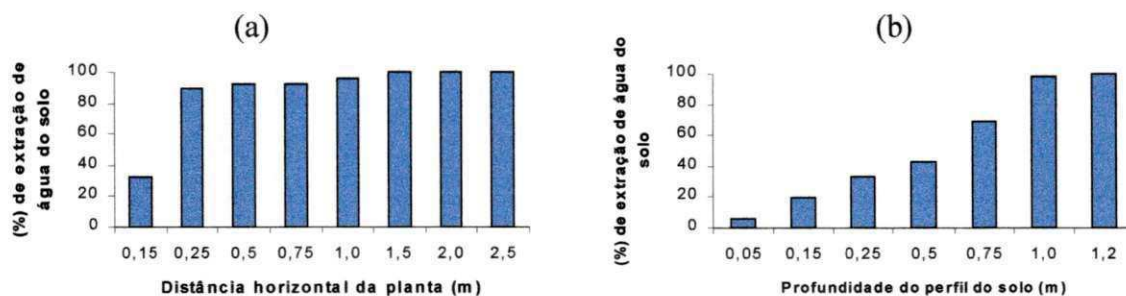


Figura 44 – Extração total de água pelo sistema radicular no perfil ortogonal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de um dia, em relação a distância horizontal em relação a planta (a) e profundidade do perfil do solo (b).

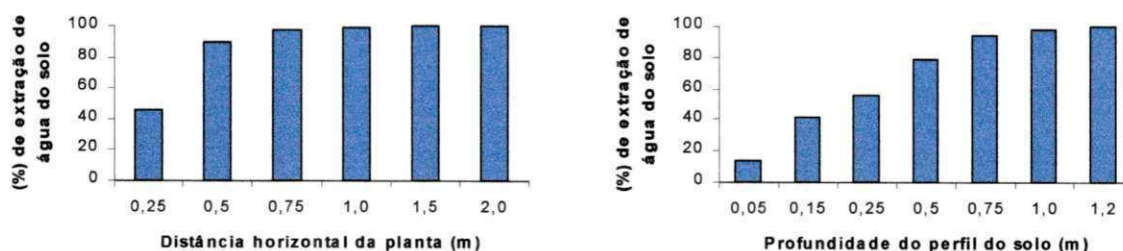


Figura 45 – Extração total de água pelo sistema radicular no perfil longitudinal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de dois dias, em relação a distância horizontal em relação a planta (a) e profundidade do perfil do solo (b).

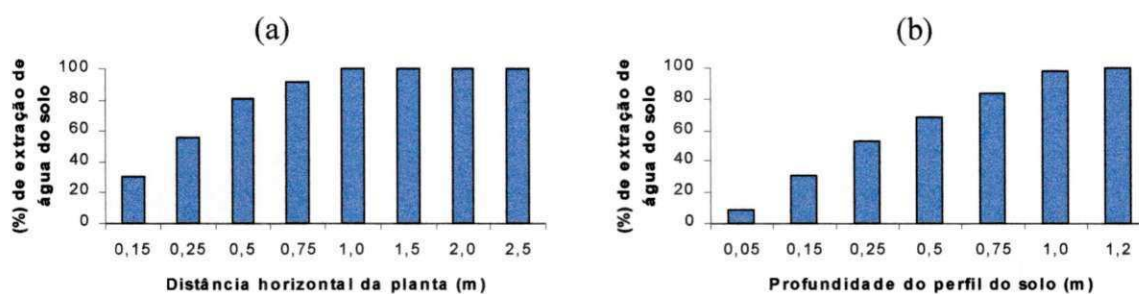


Figura 46 – Extração total de água pelo sistema radicular no perfil ortogonal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de dois dias, em relação a distância horizontal em relação a planta (a) e profundidade do perfil do solo (b).



Para frequência de irrigação de três dias, as posições mais adequadas para instalação de sensores para o monitoramento da água no solo, no sentido longitudinal à planta, é de 0 - 0,5 m de profundidade e 0 - 0,75 m de distância horizontal da planta, visto que (Figura 47) a PEe atinge até 0,48 m e a DEe alcança até 0,75 m da planta. No perfil ortogonal, as posições mais indicadas para instalação dos sensores foi 0 - 0,8 m de profundidade e 0 - 0,5 m de distância horizontal da planta, pois, observando-se a Figura 48, verifica-se que a PEe atingiu 0,82 m e a DEe 0,5 m da planta.

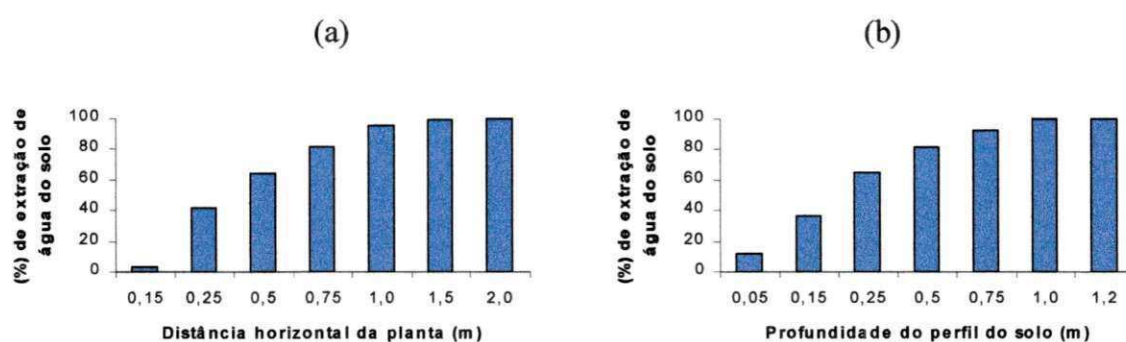


Figura 47 – Extração total de água pelo sistema radicular no perfil longitudinal a fileira de plantas, referente a frequência, de irrigação de três dias, em relação a distância horizontal em relação a planta (a) e profundidade do perfil do solo (b).

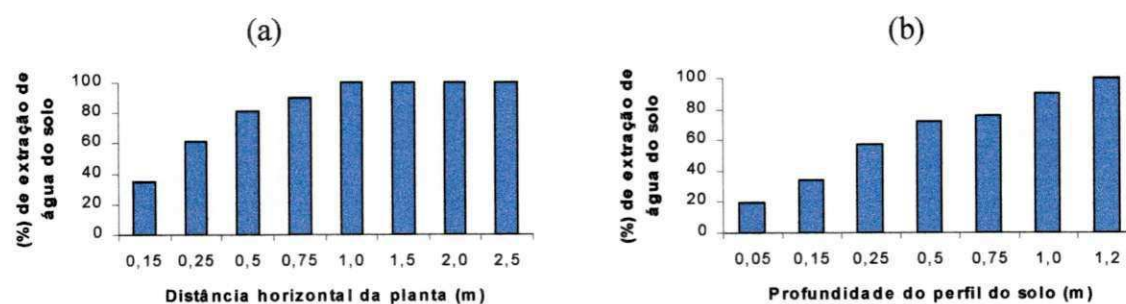


Figura 48 – Extração total de água pelo sistema radicular no perfil ortogonal a fileira de plantas, referente a frequência de irrigação de três dias em relação a distância horizontal em relação a planta (a) e profundidade do perfil do solo (b).

#### 4.4.4 Tratos culturais e aplicação de fertilizantes

Diante dos resultados obtidos sobre a área de extração de água pelo sistema radicular do citrumelo 'Swingle' sob lima ácida 'Tahiti', obteve-se informações importantes sobre o manejo da lâmina de água a aplicar e sobre a utilização da fertirrigação, pois os resultados levantam possibilidades de otimização do manejo da irrigação no sentido de promover uma irrigação em que a água atinja a profundidade e distância efetiva de extração, o que iria acarretar numa melhor utilização do produto pela planta, visto que o nutriente é absorvido pela planta juntamente com a água, evitando-se, dessa forma, possíveis perdas de nutrientes que não seriam absorvidos pelo sistema radicular e iriam ficar no solo, podendo ser levado a profundidades indesejáveis através duma forte chuva ou pela própria irrigação, além das perdas econômicas. No caso do produtor não aplicar os fertilizantes via água de irrigação, poderá aplicar via solo de forma que as raízes absorvam o máximo possível do fertilizante, só que, para que isso ocorra com sucesso, o fertilizante tem que ser aplicado a meia lua da área molhada efetivamente pelo microaspersor, ou seja, na área onde se encontra a DEe em no máximo 0,3 m do emissor, pois seguindo as recomendações tradicionais de aplicar o fertilizante a distância de 50 a 75% da projeção da copa da planta, estaria jogando adubo fora do alcance de extração das raízes.

Outro fator importante do conhecimento da área extração de água e, conseqüentemente, de nutrientes pelo sistema radicular da cultura, seria pelo fato de conduzir os tratos culturais com implementos agrícolas como grade e arado de forma que não prejudicasse o sistema radicular da cultura e também no caso de implantação de culturas intercalares, pois se saberia até que distância da planta poderia se colocar outra cultura para que esta não viesse a concorrer com a cultura principal em relação a água e nutrientes.

## 5 CONCLUSÕES

- O porta enxerto citrumelo 'Swingle' sob lima ácida 'Tahiti', consegue extrair água do solo a níveis baixos de água disponível correspondentes as umidades que se encontram entre 0,10 e 0,11  $m^3 m^{-3}$ ;
- A medida que aumenta o intervalo entre um evento de irrigação e outro aumenta também abrangência da área potencial efetiva de extração de água do solo pelas raízes;
- As raízes do porta enxerto citrumelo 'Swingle' sob lima ácida 'Tahiti' de diâmetro entre 0,5 - 2 mm são as maiores responsáveis pela extração de água do solo;
- A profundidade efetiva de extração de água do solo pelas raízes (PEe) e a distância efetiva de extração de água do solo pelas raízes (DEe) são parâmetros mais adequados para definir o manejo da irrigação, a partir do posicionamento dos sensores para monitoramento da umidade do solo quando comparados com os parâmetros tradicionais que utilizam a profundidade efetiva das raízes (Pe) e a distância efetiva das raízes (De);
- Sugere-se que sejam instalados longitudinalmente a fileira de plantas os sensores de medição do conteúdo de água no solo a uma distancia de 0,4 m a partir da planta, para frequência de irrigação de até dois dias e a 0,75 m para frequência de três dias. A profundidade deve ser de 0,5 m a partir da superfície do solo;

- Sugere-se que sejam instalados ortogonalmente a fileira de plantas os sensores de medição do conteúdo de água no solo a uma distancia de 0,5 m a partir da planta, para as frequências de irrigação de dois e três dias até a profundidade de 0,75 m a partir da superfície do solo, enquanto que para a frequência de irrigação de um dia, a profundidade recomendada para instalação dos sensores é até 0,9 m e 0,25 m de distância a partir da planta.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDO, S. Manual de irrigação. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1982, 463p.

BAUDER, J. W.; RANDAL, G. W.; SWANN, J. B. Effect of four continuous systems on mechanical impedance of a clay soil. *Soil Science Society of America Journal*, v.45, p.802-806, 1981.

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

BOX, J. E. Modern methods for root investigations. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Eds.) *Plant Roots: the hidden half*. New York: Marcel Dekker. 1996. p. 193-233.

BUCKS, D. A. Historical development in microirrigation. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, Orlando. Florida, *Proceedings...* St.Joseph: 1995. p.1-5.

CAHOON, G. A.; STOLZY, L. H. Estimating root density in citrus orchards by the neutron moderation method. *Journal of American Society for Horticultural Science*, Alexandria, v.74, p. 322-326, 1980.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; JORGE, L. A. de C. Distribuição do sistema radicular do citros em solo de tabuleiro costeiro. In: WORKSHOP SOBRE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR: metodologias e estudo de casos, **Anais...** Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p.179-189.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, R. D.; GONÇALVES, A. C. A. Variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas do solo em um pomar de lima ácida "Tahiti", irrigado por microaspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.5, n.2, p.239-246, maio/ago. 2001.

COELHO, E. F.; ARRUDA, F. B. Aplicações da técnica da TDR: manejo da água no solo. In: MATSURA, E. E. (ed.) Aplicações da técnica da TDR na agricultura. Campinas: UNICAMP/FEAGRI, 2001. p.129-145.

COELHO, E. F.; CALDAS, R. C.; TAKAHASHI, R.; LORDELO, C. M. M.; SANTOS, D. B. Resposta do limão Taiti sob diferentes lâminas de água e frequências de irrigação em condições semi-áridas. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2001. p. 299-302.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, F. C.; ARAÚJO, E. C. E.; VASCONCELOS, L. F. L.; LIMA, D. M. Distribuição do sistema radicular da mangueira sob irrigação localizada em solo arenoso de tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 250-256, ago. 2001.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, F. C.; VASCONCELOS, L. F. L.; ARAUJO, E. C. E. Extração de água na zona radicular da manga sob irrigação por microaspersão. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2001. p. 127-131.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, F.C.; VASCONCELOS, L. F. L.; ARAÚJO, E. C. E. Comparação dos métodos de obtenção de imagens digitais de raízes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: SBEA/UFPEL-FEA, 1999. CD-ROM.

COELHO, E. F.; OR, D. Applicability of analytical solutions for flow from point sources to drip irrigation management. **Soil Science Society of America Journal**. v. 61, p.1331-1341, sept/oct. 1997.

COELHO, E. F.; OR, D. Modelo de distribuição de água e de potencial matricial no solo sob gotejamento com extração de água por raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.34, n.2, p.225-234, fev. 1999.

COELHO, E. F.; SOUZA, V. F.; AGUIAR NETTO, A. O.; OLIVEIRA, A. S. **Manejo de irrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas , BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. 48p. ( Circular técnica, 40).

COELHO, Y. da S. **Lima ácida "Tahiti" para exportação: aspectos técnicos da produção**. Brasília: Embrapa-SPI, 1993. 35p. (Série publicações técnicas FRUPEX, 1).

CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M. F.; JORGE, L. A. C.; RALISCH, R.; TOZZI, C. L.; TORRE, A.; VAZ, C. M. P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, n.3, p. 365-371, 1994.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for prediction of crop water requirements**. 2.ed. Rome: FAO, 1975. 156 p. (FAO irrig. and drain. Paper 24).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. (Irrigation and drainage) 179p. Paper n.24

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de gheyi, h. r; souza. a. a.; damasceno, f. a. v. Campina Grande, UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33)

DOURADO NETO, D.; LOPES, J. C. M. Determinação da profundidade efetiva do sistema e da evapotranspiração média da cultura do milho. **ITEM**, n. 30, p. 21-23, set. 1987.

FICHBACK, P. E. A comparison of various irrigation scheduling procedures for corn. In: **IRRIGATION SCHEDULING FOR WATER & ENERGY CONSERVATION IN THE 80'S**. Chicago, Illinois: American Society of Agricultural Engineers, **Proceedings...**St. Joseph, Michigan, 1981. p. 166-170.

FNP. CONSULTORIA & COMÉRCIO. **AGRIANUAL 2002**: Anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2002. p. 316-321.

FORD, H. W. Effect of spreading decline disease on the distribution of feeder roots of orange and grapefruit trees on rough lemon rootstock. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, v.61, p. 68-72, 1953.

GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America. Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

GUERRA, H. O. C. **Física dos solos**. Campina Grande – Pb: Departamento de Engenharia Agrícola /Centro de Ciência e Tecnologia – CCT-UFPb, 2000. 175p.

HART, W. E.; REYNOLDS, W. N. Analytical design of sprinkler systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.8, n.10, p.83-90, 1965.

HENDERSON, C. W. L. Using a penetrometer to predict the effects of soil compaction on the growth and yield of wheat on uniform, sandy soils. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.40, p.497-508, 1989.



INFORZATO, R. Distribuição do sistema radicular da cana de açúcar, em solo tipo terra roxa legítima. **Bragantia**, Campinas, v.16, n.1, p.1-13, 1957.

KASPAR, T. C.; EWING, R. P. Rootedge: software for measuring root length from desktop scanner images. **Agronomy Journal**. v.89, p. 932-940. 1997.

LIBARDI, P. L.; LIER, de J. van. Atuação dos fatores físicos do solo no desenvolvimento do sistema radicular. In: **WORKSHOP SOBRE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR: metodologias e estudo de casos**. **Anais...** Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p.47-56.

LOPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P. **Riego localizado**. Espanha: Centro Nacional de Tecnologia de Regadios, 1992. 450 p.

MACHADO, C. C.; COELHO, R. D. Estudo da distribuição espacial do sistema radicular do limão "Cravo" enxertado com lima ácida "Tahiti". **LARANJA**, Cordeirópolis, v.21, n.2, p. 359-380, 2000.

MATA, J. D. V. da. **Relações entre características físicas e os níveis de compactação de alguns latossolos paraenses**. Curitiba: UFPR, 1988. 105p. Dissertação (Mestrado).

MONTENEGRO, H. W. S. **Contribuição ao estudo do sistema radicular das plantas cítricas**. Piracicaba, 1960. 143p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. de C. Distribuição de raízes de citrus em latossolo roxo. In: **WORKSHOP SOBRE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR: metodologias e estudo de casos**. **Anais...** Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p.153-166.

OLIVEIRA, F. das C. **Uso e manejo da água na produção de manga sob condições subúmidas no estado do Piauí.** Cruz das Almas, 2001. 99p. Dissertação (Mestrado). Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia.

OLIVEIRA, L. B. de; MARTINS, A. M. C. M. Considerações sobre a umidade de 15 atmosferas e a umidade de murchamento (método fisiológico) em solos do Nordeste. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.1, p.91-95, 1966.

OR, D.; DASBERG, S. **Drip irrigation.** Nova York: Spriger-Verlag. 1999. 162p.

OTTO, S. R. L. Manejo de irrigação com o TDR. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2001. p.199-203.

PACE, C. A. M.; ARAÚJO, C. M. Estudo da distribuição radicular de porta-enxertos cítricos em solos podzolizados e sua relação com a formação das copas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA**, 8., 1986, Brasília: SBF, 1986. v.1, p. 199-205.

REICHARDT, K. **Processo de transferência no sistema solo-planta-atmosfera.** 4. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445p.

RIBEIRO, T. A. P. **Estudo dos parâmetros básicos de irrigação por microaspersão para a cultura do limão Tahiti.** Campinas, 1973. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.

RICHARDS, L. A. Pressure-membrane apparatus, construction and use. **Agronomy Engineering**, Madson, n.28, p.451-454, 1947.

ROCHA, E. M. M.; MAPURUNGA, S. M. S.; COSTA, R. N. T.; CASTRO, P. T.; AGUIAR, O. S. Uniformidade e eficiência de aplicação de água de irrigação por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA**

AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas, MG. **Anais...Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**, 1998. p.286-288.

SANTOS, C. A. S. **Distribuição espacial e absorção de água pelo sistema radicular da cultura da manga (*Mangifera indica* L.) irrigada por microaspersão**. Piracicaba – São Paulo, 1997. 51p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SEAGRI-BA. **Secretaria da Agricultura do Estado da Bahia**. Disponível em: <<http://www.seagri.ba.gov.br>> Acesso em: 20 jan. 2002.

SOUZA, J. R.; QUEIROZ, J. E.; GHEYI, H. R. Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido paraibano. . **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.2, p.140-144, maio/ago. 1999.

SYVERTSEN, J.P.; LLOYD, J. J. Citrus In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. C. (Eds.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. Washington, Library of Congress. 1994. v.2, p. 65-100.

TOMMASELLI, J. T. G. Critérios para calibração de sondas de TDR. In: MATSURA, E. E. (ed.) **Aplicações da técnica da TDR na agricultura**. Campinas: UNICAMP/FEAGRI, 2001. p. 85-114.

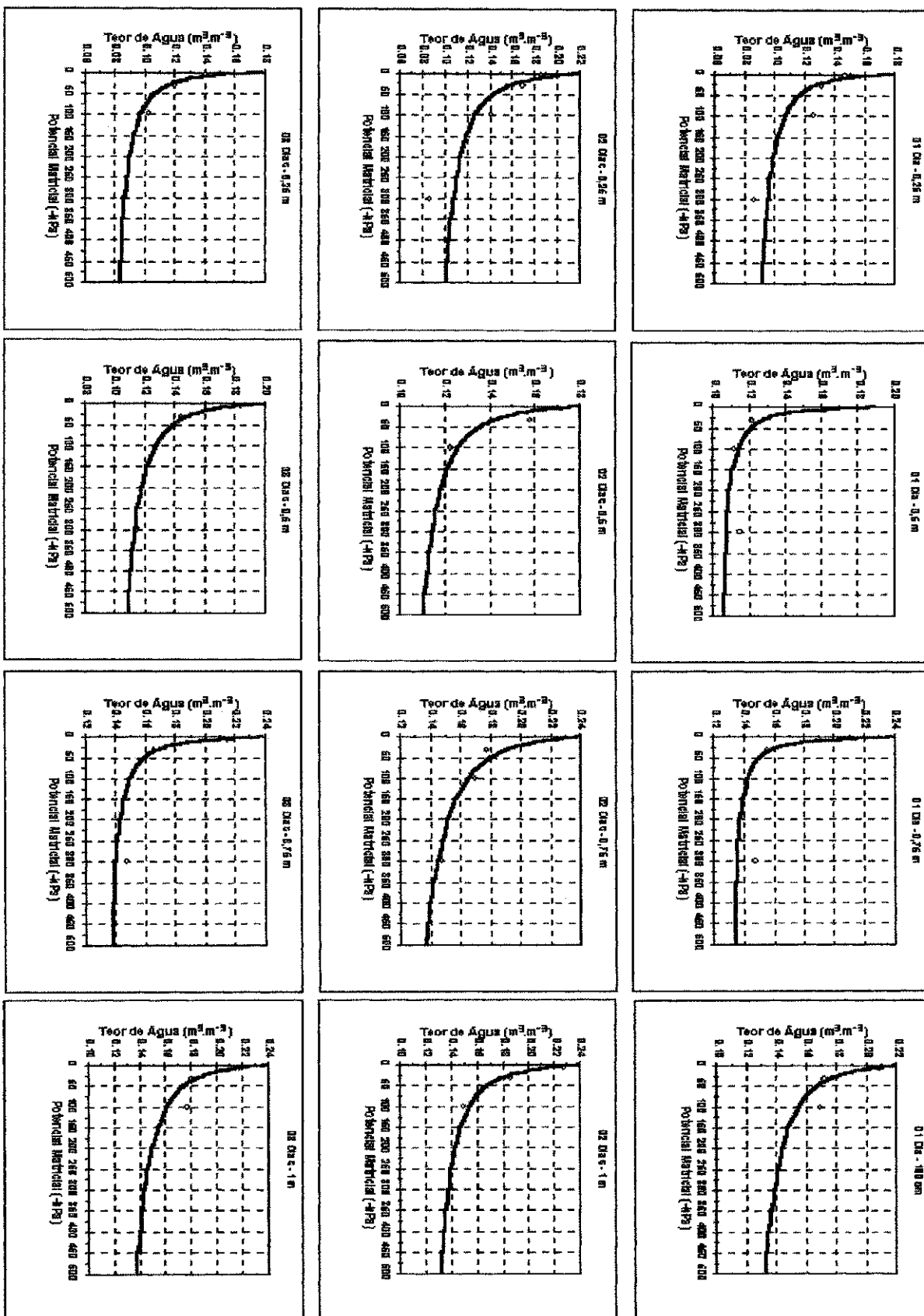
VIEIRA, D. B.; GENOVEZ, A. M.; GOMES, E. M. Determinação da profundidade efetiva do sistema radicular do milho (*Zea mays* L.) irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 1996, Campinas. **Anais...** p.95-106.

VIEIRA, D. B.; GOMES, M. E. Determinação da profundidade efetiva do sistema radicular do limão “Cravo” com copa de lima ácida “Tahiti”. **LARANJA**, Cordeirópolis, v.20, n.2, p. 419-431, 1999.

ZEGELIN, S. J.; WHITE, I.; JENKINS, D. R. **Improved field probes for soil-water Content and Eletrical Conduivity Measurement Using Time Domain Reflectometry.** CSIRO Centre for Environmental Mechanics, Camberra 37p., 1989.

## **7 ANEXOS**

Anexo 1 – Curvas características de retenção de água do solo, ajustadas segundo van Genuchten (1980).



Anexo 2 – Parâmetros de ajuste de van Genuchten para as curvas características de água no solo nas profundidades de 0,25; 0,5; 0,75 e 1 m, para as frequências de irrigação de um, dois e três dias.

Frequência de irrigação	Profundidade em (cm)	Parâmetros de van Genuchten (1980)			
		$\alpha$	$n$	$\theta_s$	$\theta_r$
1 dia	25	1,85000	1,40000	0,18000	0,07372
1 dia	50	1,99000	1,64405	0,19000	0,10063
1 dia	75	1,85000	1,75000	0,24000	0,12948
1 dia	100	1,09000	1,32828	0,22000	0,10000
2 dias	25	1,00000	1,45000	0,22000	0,07617
2 dias	50	1,10000	1,40000	0,18000	0,09271
2 dias	75	1,12000	1,25000	0,24000	0,07709
2 dias	100	1,18000	1,44000	0,24000	0,10994
3 dias	25	1,80000	1,50000	0,18000	0,07179
3 dias	50	1,75101	1,31446	0,20100	0,07789
3 dias	75	1,77983	1,59132	0,24000	0,12948
3 dias	100	1,50803	1,30490	0,24000	0,10000

### **ANEXO 3**

**Programa em linguagem Quick Basic 4.5, utilizado no manejo das irrigações.**



```

CLS
'Program to determine amount of water to be applied in the field experiment
'This program is to be used for lemon under microjet irrigation in Itaberaba-BA
outfile1$ = "c:\qb45\LIM2001.dat"
OPEN outfile1$ FOR APPEND AS #1
'Input data
GOSUB InputData
GOSUB DataProcess1
GOSUB CalculoKc
GOSUB wateramount
IF Ud > 0 THEN
GOSUB Timecalc
GOSUB Printscreen
GOSUB Writefile1
ELSE
GOSUB Printscreen1
GOSUB Writefile2
END IF
END
InputData:
CLS
LOCATE 3, 12
PRINT "-----PROJETO MANEJO DE IRRIGACAO DA CULTURA DO LIMAO-----"
LOCATE 4, 12
PRINT "PARCERIA EMBRAPA CNPMF/IACU AGROPASTORIL"
LOCATE 5, 12
PRINT "-----"
LOCATE 6, 12
PRINT "Entre com a dia de hoje (numeral):";
INPUT dayx
LOCATE 7, 12
PRINT "Entre com o mes (numeral):";
INPUT monthx
LOCATE 8, 12
PRINT "Entre com o ano";
INPUT yearx
LOCATE 9, 12
PRINT "Entre com a frequencia de irrigacao :";
INPUT FREQ
LOCATE 10, 12
PRINT "Evapotranspiracao Penman desde a ultima irrigacao :";
INPUT EVA
LOCATE 11, 12
PRINT "Entre com a precipitacao desde a ultima irrigacao :";
INPUT PPT
LOCATE 12, 12
PRINT "Entre com um fator de ajuste do tempo de irrigacao, use 1 se o programa e
INPUT FA
RETURN
Timecalc:
volap = dwater * 19.6
'28.3 É A AREA EFETIVA MOLHADA, CONSIDERANDO UM RAI0 MOLHADO DE 3M EM 2000
'19.6 E A AREA EFETIVA MOLHADA PARA UM RAI0 DE 2,5M EM 2001
dwl = volap / 47
'35 - espacamento entre linhas x espacamento na linha
'47 E A VAZAO DO MICROAPERSOR
TEMPIRG1 = dwl
TEMPIRG = TEMPIRG1 * FA
VOLUME = volap
TEMLIHORA = INT(TEMPIRG)

```

```

TEMLIMIN = ABS((TEMPIRG - TEML1HORA) * 60)
RETURN
DataProcess1:
AMD = .39
' AMD=(CC-PM)x 0,35 com unidades em mm/cm e f = 0,35
Zmax = 60
'Zmax - profundidade máxima do sistema radicular
Dstress = 151
'Dstress - dia do final do stress em 2001, era inicio do estresse em 2000
Dtoday = INT(dayx - 30 + 275 * monthx / 9)
      IF monthx > 2 THEN Dtoday = Dtoday - 2
      NINT = yearx / 4
      NINT1 = INT(yearx / 4)
      NINT2 = NINT - NINT1
      IF NINT2 = 0 THEN Dtoday = Dtoday + 1
'Conversao da data atual para dia juliano
IF yearx >= 1999 THEN Ztoday = Zmax
ETOCA = EVA
IF PPT < 4 THEN PPT = 0
IF PPT > 24 THEN PPT = 24
RETURN
CalculoKc:
DAS = Dtoday - Dstress
DAF = DAS - 30
DAZ = DAS - 60
DABB = DAS - 100
IF DAS < 0 AND monthx <= 4 THEN Kc = .75
IF DAS < 0 AND monthx > 4 THEN Kc = .7
IF DAS >= 0 AND DAS <= 30 THEN Kc = .8
'Periodo posterior a inducao
IF DAS > 30 AND DAS <= 60 THEN Kc = (((.85 - .8) * DAF) / 30) + .8
'Periodo entre a floracao e frutos tamanho azeitona
IF DAS > 60 AND DAS <= 100 THEN Kc = (((.87 - .85) * DAZ) / 40) + .85
'Periodo de maxima demanda de agua pelo limao
IF DAS > 100 AND DAS <= 330 THEN Kc = .85
'Periodo quando a irrigacao deixa de influenciar o crescimento do fruto
IF DAS > 330 THEN Kc = .75
RETURN
wateramount:
'Calculation of ETcrop
ETcrop = ETOCA * Kc
'Calculation of time for irrigation based on ETcrop
'Calculation of Average daily transpiration
Ud = (ETcrop - PPT)
EU = .9
dwater = Ud / EU
RETURN
Printscreen:
CLS
LOCATE 2, 12
PRINT "-----PROJETO MANEJO DE IRRIGACAO DA CULTURA DO LIMAO-----"
LOCATE 3, 16
PRINT "PARCERIA Embrapa CNPMF/IACU AGROPASTORIL"
LOCATE 4, 12
PRINT "-----"
LOCATE 5, 12
PRINT "----- RESULTADOS-----"
PRINT
LOCATE 6, 8
PRINT "EXPERIMENTO NIVEIS DE IRRIGACAO NA CULTURA DO LIMAO"

```

```

LOCATE 7, 10
PRINT "DATA: "; dayx; "/" ; monthx; "/" ; yearx
LOCATE 8, 10
PRINT "ETo= :"; ETOCA; "mm"; " Lamina calculada= "; dwater; "mm"
LOCATE 9, 10
PRINT "Frequencia de irrigacao : "; FREQ; " dias";
LOCATE 10, 10
PRINT "Tempo de Irrigacao:"
LOCATE 11, 3
PRINT "Tempo: "; TEML1HORA; "h e "; INT(TEML1MIN); " minutos"
LOCATE 12, 3
IF DAI > 0 THEN
PRINT "KC utilizado :"; Kc;
ELSE
PRINT "KC utilizado :"; Kc
END IF
LOCATE 13, 3
PRINT "Profundidade sistema radicular considerado: "; Zmax
LOCATE 14, 3
PRINT " Dias decorridos do estresse: "; DAS
LOCATE 19, 3
PRINT " ----- "
RETURN
Printscreen1:
CLS
LOCATE 2, 12
PRINT "-----PROJETO MANEJO DE IRRIGACAO DA CULTURA DO LIMAO-----"
LOCATE 3, 12
PRINT "PARCERIA Embrapa CNPMF/IACU AGROPASTORIL "
LOCATE 4, 12
PRINT "-----"
LOCATE 5, 12
PRINT " ----- RESULTADOS----- "
PRINT
LOCATE 7, 16
PRINT "EXPERIMENTO NIVEIS DE IRRIGACAO NA CULTURA DO LIMAO"
LOCATE 8, 12
PRINT "DATA: "; dayx; "/" ; monthx; "/" ; yearx; "Ud ="; Ud; "Kc ="; Kc; "DAS =";
LOCATE 9, 12
PRINT "ETo :"; ETOCA; "mm"; " Precipitacao: "; PPT; " mm"
PRINT
PRINT TAB(10); "-----!!!! ATENCAO !!!!!-----"
LOCATE 10, 15
PRINT "Precipitacao superior a evapotranspiracao em :"; ABS(Ud); " mm"
LOCATE 11, 16
PRINT "Considere na proxima irrigacao um credito de "; ABS(Ud); " mm"
LOCATE 12, 19
PRINT "que devera ser considerado como precipitacao "
PRINT "-----"
PRINT
PRINT TAB(8); "Frequencia de irrigacao : "; FREQ; " dias"
LOCATE 14, 12
PRINT "KC utilizado :"; Kc
PRINT
LOCATE 17, 2
PRINT " ----- "
RETURN
Writefile1:
PRINT #1, monthx; "/" ; dayx; "/" ; yearx; "FREQ="; FREQ; "ETOCA ="; ETOCA; "dwate
RETURN

```

```
Writefile2:  
PRINT #1, monthx; "/" ; dayx; "/" ; yearx; "FREQ="; FREQ; "ETOCA =" ; ETOCA; "dwat  
PRINT #1, "Nao irrigar"  
RETURN
```

## **ANEXO 4**

**Programa em linguagem Quick Basic utilizado para obter a uma determinada posição do perfil a soma total dos comprimentos das raízes e separar os valores em seis classes diferentes de diâmetros (Coelho et al., 2001).**

```

CLS
'Program to process root data obtained from ROOTEDGE
GOSUB INPUTDATA
GOSUB PROCESSFILE
GOSUB WRITEENDMESSAGE
CLOSE #1
CLOSE #2
CLOSE #3
END
INPUTDATA:
CLS
LOCATE 7, 8
INPUT "NOME DO ARQUIVO DE ENTRADA COM EXTENS||O:", INFILE$
OPEN INFILE$ FOR INPUT AS #1
LOCATE 10, 8
INPUT "NOME DO ARQUIVO DE SAIDA SEM EXTENS||O:", SAIDA$
OUTFILE$ = "C:\QB45\LARANJA\DIAM01.SEQ"
OUTFILE1$ = "C:\QB45\LARANJA\DIAM02.SEQ"
OUTFILE2$ = "C:\QB45\LARANJA\DIAM03.SEQ"
OUTFILE3$ = "C:\QB45\LARANJA\DIAM04.SEQ"
OUTFILE4$ = "C:\QB45\LARANJA\DIAM05.SEQ"
OUTFILE5$ = "C:\QB45\LARANJA\DIAM06.SEQ"
OUTFILE6$ = "C:\QB45\LARANJA\DENSOCR.SEQ"
OPEN OUTFILE$ FOR APPEND AS #2
OPEN OUTFILE1$ FOR APPEND AS #3
OPEN OUTFILE2$ FOR APPEND AS #4
OPEN OUTFILE3$ FOR APPEND AS #5
OPEN OUTFILE4$ FOR APPEND AS #6
OPEN OUTFILE5$ FOR APPEND AS #7
OPEN OUTFILE6$ FOR APPEND AS #8
RETURN
PROCESSFILE:
ACAREA = 0
ACCOMP = 0
ACDIAM = 0
CONT = 0
PCOMP1 = 0
PCOMP2 = 0
PCOMP3 = 0
PCOMP4 = 0
PCOMP5 = 0
PCOMP6 = 0
DO UNTIL EOF(1)
    INPUT #1, AREA, COMP, DIAM
    ACAREA = AREA + ACAREA
    ACCOMP = COMP + ACCOMP
    ACDIAM = DIAM + ACDIAM
    CONT = CONT + 1
    IF DIAM <= .05 THEN PCOMP1 = PCOMP1 + COMP
    IF (DIAM > .05) AND (DIAM <= .2) THEN PCOMP2 = PCOMP2 + COMP
    IF (DIAM > .2) AND (DIAM <= .5) THEN PCOMP3 = PCOMP3 + COMP
    IF (DIAM > .5) AND (DIAM <= 1) THEN PCOMP4 = PCOMP4 + COMP
    IF (DIAM > 1) AND (DIAM <= 2) THEN PCOMP5 = PCOMP5 + COMP
    IF (DIAM > 2) THEN PCOMP6 = PCOMP6 + COMP
LOOP
DIAMEDIO = ACDIAM / CONT
PCOMP1PT = (PCOMP1 / ACCOMP) * 100
PCOMP2PT = (PCOMP2 / ACCOMP) * 100
PCOMP3PT = (PCOMP3 / ACCOMP) * 100
PCOMP4PT = (PCOMP4 / ACCOMP) * 100

```

```
PCOMP5PT = (PCOMP5 / ACCOMP) * 100
PCOMP6PT = (PCOMP6 / ACCOMP) * 100
RETURN
WRITEENDMESSAGE:
CLS
PRINT
PRINT TAB(2); SAIDA$;
PRINT SKIP(2); "AREA "; SKIP(4); " COMPRIMENTO"; SKIP(4); "DIAMETRO"
PRINT
PRINT TAB(9); ACAREA; SKIP(4); ACCOMP; SKIP(4); DIAMEDIO
PRINT TAB(3); "%compr. raiz d. < 0,5 mm ="; PCOMP1PT; "Comp.em cm =", PCOMP1
PRINT TAB(3); "%compr. raiz d. entre 0,5 e 2 mm ="; PCOMP2PT; "Comp.em cm =", I
PRINT TAB(3); "%compr. raiz d. entre 2 e 5 mm ="; PCOMP3PT; "Comp.em cm =", I
PRINT TAB(3); "%compr. raiz d. entre 5 e 10 mm ="; PCOMP4PT; "Comp.em cm =", I
PRINT TAB(3); "%compr. raiz d. entre 10 e 20 mm ="; PCOMP5PT; "Comp.em cm =", I
PRINT TAB(3); "%compr. raiz d. acima 20 mm ="; PCOMP6PT; "Comp.em cm =", I
PRINT #8, SAIDA$, ACAREA, ACCOMP, DIAMEDIO
PRINT #2, SAIDA$, "%rootlen d. < 0,5mm =", PCOMP1PT, "Comp.em cm =", PCOMP1
PRINT #3, SAIDA$, "%rootlen 0,5<d<2mm =", PCOMP2PT, "Comp.em cm =", PCOMP2
PRINT #4, SAIDA$, "%rootlen 2<d<5mm =", PCOMP3PT, "Comp.em cm =", PCOMP3
PRINT #5, SAIDA$, "%rootlen 5<d<10mm =", PCOMP4PT, "Comp.em cm =", PCOMP4
PRINT #6, SAIDA$, "%rootlen 10<d<20mm =", PCOMP5PT, "Comp.em cm =", PCOMP5
PRINT #7, SAIDA$, "%rootlen d>20 mm =", PCOMP6PT, "Comp.em cm =", PCOMP6
RETURN
```