

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

**HIDRODINÂMICA TRIDIMENSIONAL NA ZONA
RADICULAR DO MELOEIRO EM CONDIÇÕES
SEMIÁRIDAS**

FRANCISCO AIRDESSON LIMA DO NASCIMENTO

CRUZ DAS ALMAS – BAHIA

2017

HIDRODINÂMICA TRIDIMENSIONAL NA ZONA RADICULAR DO MELOEIRO EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS

Francisco Airdesson Lima do Nascimento

Tecnólogo em Irrigação e Drenagem,
Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Ceará- IFCE, 2015

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos

Orientador: Dr. Alisson Jadavi Pereira da Silva

**CRUZ DAS ALMAS- BAHIA
2017**

FICHA CATALOGRÁFICA

N244h	<p>Nascimento, Francisco Airdesson Lima do. Hidrodinâmica tridimensional na zona radicular do meloeiro em condições semiáridas / Francisco Airdesson Lima do Nascimento._ Cruz das Almas, BA, 2017. 59f.; il.</p> <p>Orientador: Alisson Jadavi Pereira da Silva.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas.</p> <p>1.Solo – Dinâmica hidrológica. 2.Solo – Evapotranspiração. 3.Melão – Cultivo – Avaliação. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p>
CDD: 631.42	

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

**HIDRODINÂMICA TRIDIMENSIONAL NA ZONA RADICULAR DO
MELOEIRO EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de

Francisco Airdesson Lima do Nascimento

Aprovada em 22/02/2017

Orientador - Prof. Dr. Alisson Jadavi Pereira da Silva
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - IFBAIANO

Membro Externo - Dr. Delfran Batista dos Santos
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - IFBAIANO

Membro Interno - Dr. Eugênio Ferreira Coelho
EMBRAPA – Mandioca e Fruticultura

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho especialmente a minha esposa Ana Claudia Rodrigues Nascimento que esteve sempre presente apoiando e incentivando minha vida acadêmica.

Ao meu pai Francisco Ferreira do Nascimento e minha mãe Maria de Jesus Lima do Nascimento por terem me concedido o dom da vida e por batalharem para eu me tornar o que sou hoje.

Aos meus sogros Antônio Rodrigues da Silva e Francisca Gabriel da Silva, por me acolherem como um quarto filho.

A minha irmã Maria de Lourdes Lima do Nascimento, e aos meus cunhados Antônia Claudia Rodrigues da Silva e Alex Rodrigues da Silva.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder a existência e possibilitar que a fé seja o refúgio das horas difíceis e o louvor nas horas alegres.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola/Núcleo de Engenharia de Água e Solo (NEAS) pela oportunidade de realizar mais essa etapa acadêmica.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Capes pela concessão de bolsa de auxílio formação durante o período desta etapa acadêmica.

Ao IF Baiano *Campus* Senhor do Bonfim pela infraestrutura e dependências cedidas à pesquisa.

A todos os professores pertencentes ao corpo docente do NEAS e em especial ao professor Dr. Alisson Jadavi Pereira da Silva pela orientação, contribuições, inspiração e por todo o incentivo para concretização desse trabalho.

A todos os colegas de pós-graduação em especial a: Allan Radax, Neilon Duarte, Damiana Lima, Hewsley Baleeiro, Luciano Sobral, Francicleiton Freires e Mairton Gomes pelo companheirismo e momentos vividos durante esta jornada.

A todos os amigos e também alunos que conviveram comigo destacando: Jilcelio Nunes, Mônica Gomes e Joel Antônio.

HIDRODINÂMICA TRIDIMENSIONAL NA ZONA RADICULAR DO MELOEIRO EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS

Autor: Francisco Airdesson Lima do Nascimento

Orientador: Prof.Dr Alisson Jadavi Pereira da Silva

RESUMO: O conhecimento da evapotranspiração bem como a extração de água pelas culturas agrícolas, trazem grande contribuição para solucionar problemas relacionados ao sistema solo-água-planta-atmosfera e do manejo da irrigação. Os componentes básicos deste sistema podem ser determinados com o balanço hídrico obtido com o uso da TDR. O objetivo do trabalho foi observar o fluxo dinâmico da evapotranspiração, percolação e extração de água pelo meloeiro, utilizando a TDR para o melhoramento do cálculo do balanço hídrico e o manejo da irrigação dessa cultura no semiárido. O trabalho foi realizado em campo e laboratório nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – IF BAIANO, *Campus* Senhor do Bonfim- BA. Em uma área de cultivo de melão, semeando o melão redondo gaúcho. Na área de cultivo, foram instalados 21 lisímetros de drenagem com volume de 1,12 m³, medindo 1,4 m de comprimento, 1m de largura e 0,8 m de profundidade. Quarenta sondas de TDR foram distribuídas no interior de um lisímetro em quatro perfis de monitoramento para determinação das variações de armazenamento de água no solo. A variabilidade temporal de extração de água é maior do que a espacial. A região indicada como a de maior atividade de extração do sistema radicular do meloeiro irrigado por gotejamento é delimitada, em relação ao caule, em 0,36m de distância radial e 0,3m de profundidade, para todas as fases de desenvolvimento da cultura. Não ocorrem diferenças na estimativa dos valores de evapotranspiração do meloeiro pelo balanço hídrico ao se variar o número e local de instalação dos sensores de monitoramento do conteúdo de água no solo.

Palavras-chave: extração de água, TDR, balanço de água no solo

THREE-DIMENSIONAL HYDRODYNAMICS IN MELON ROOT ZONE UNDER SEMI-ARID CONDITIONS

Author: Francisco Airdesson Lima do Nascimento

Advisor: Prof. Dr Alisson Jadavi Pereira da Silva

ABSTRACT: The knowledge on evapotranspiration and water uptake by agricultural crops brings great contribution to solving problems related to the soil-water-plant-atmosphere system and irrigation management. The basic components of this system can be determined with the water balance obtained using TDR. This study aimed to observe the dynamic flow of evapotranspiration, percolation and uptake of water by the melon crop, using TDR to improve the calculation of water balance and the irrigation management of the melon crop cultivated in the semi-arid region. The experiment was carried out at the field and in the laboratory, at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Bahia - IFBAIANO, Campus of Senhor do Bonfim-BA. An area of melon cultivation was installed on May 3, 2015, using the variety 'Redondo Gaúcho'. In the cultivation area, 21 drainage lysimeters were installed, with volume of 1.12 m³, length of 1.4 m, width of 1 m and depth of 0.8 m. Forty TDR probes were distributed inside one lysimeter in four monitoring profiles to determine the variations of water storage in the soil. The temporal variability of water uptake is greater than its spatial variability. The region indicated as the one with highest uptake activity in the root zone of melon under drip irrigation is delimited, in relation to the stem, at 0.36 m of radial distance and 0.3 m of depth, for all crop development stages. There are no differences in the estimate of melon evapotranspiration through water balance as the number and position of soil moisture monitoring sensors varied.

Key words: water uptake, TDR, soil water balance

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO.....	08

CAPÍTULO 1

VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS DEPLEÇÕES DE ÁGUA NA ZONA RADICULAR DO MELOEIRO IRRIGADO.....	16
-----------------------------------------------------------------------------------------------------	----

CAPÍTULO 2

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MELOEIRO IRRIGADO EM LISÍMETRO DE DRENAGEM.....	38
----------------------------------------------------------------------	----

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
---------------------------	----

INTRODUÇÃO

Os números atuais e as previsões futuras de crescimento populacional indicam duas possibilidades reais para agricultura atender as demandas por alimentos nas próximas décadas. Uma é aumentar a atual área cultivada e outra é intensificar ainda mais a produção nas terras agrícolas já existentes. Contudo, as duas possibilidades apresentam impactos desagradáveis sobre os recursos naturais. A agricultura já ocupa atualmente 38% da superfície terrestre da terra e é responsável por 70% de toda derivação de água dos mananciais (RAMANKUTTY, 2010; FRAITURE & WICHELNS, 2010).

A água, por ser indispensável para produção agrícola, será ainda mais utilizada nos próximos anos, seja qual for a estratégia de produção tomada como a melhor forma de atender a demanda por alimentos para a sociedade, pois as previsões de mudanças climáticas fazem da agricultura de sequeiro uma atividade cada vez mais vulnerável, aumentando com isso a adoção pelos sistemas de irrigação e conseqüentemente, a derivação de água dos mananciais.

Segundo o IBGE, (2015) das culturas comerciais, o melão é uma cucurbitácea que representa um grande potencial econômico mundial com 1.275.887 ha produzindo 26.809.823 toneladas. Dos países produtores de melão a China lidera com aproximadamente 51% da produção mundial que corresponde a 13.652.590 toneladas. Além da China outros países se destacam como maiores produtores sendo estes a Turquia, Irã, Estados Unidos, Espanha e Índia. Na América do Sul o Brasil lidera a produção, seguido por Venezuela, Argentina e o Chile, estando como o décimo primeiro colocado no ranking mundial de produção de melão, produzindo em 2015, 521.596 toneladas. (FAO, 2012; IBGE 2015).

O Brasil apresenta uma produção em torno de 494,065 toneladas em 18.024 ha para o ano de 2015, apresentando uma produtividade em torno de 27,41 t ha⁻¹. Os maiores produtores dessa cultura no país se encontram na região Nordeste sendo estes: Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia, Piauí e Pernambuco contribuindo com cerca de 94% da produção nacional (IBGE, 2015; FAO, 2012).

A região Nordeste tem predominância de clima semiárido que apresenta um regime de altas temperatura e baixa precipitação ao longo do ano, sendo em sua grande maioria considerado como um clima semiárido. Essas condições propiciam para o meloeiro taxas ideais de temperatura e radiação, porém, o baixo volume e a irregularidade da precipitação representam grande risco no cultivo do meloeiro sem uso da irrigação.

A necessidade de aumentar a eficiência de aplicação de água nos cultivos e o aumento da produção pelo uso da irrigação justificam esforços orientados a criar e solucionar metodologias que ajudem a resolver problemas envolvidos no sistema solo-água-planta-atmosfera. O primeiro passo necessário ao entendimento deste sistema é medir com precisão e acurácia fenômenos isolados tais como: evaporação, percolação, armazenamento de água no solo, extração de água pelas culturas e evapotranspiração.

Para isso uma técnica bastante usada é o balanço hídrico que leva em consideração as entradas de água no sistema solo planta bem como suas saídas. No sistema solo-planta considera-se como entrada a precipitação e irrigação e a ascensão capilar em algumas condições. Já as saídas são: evapotranspiração, percolação e o escoamento superficial (HILLEL, 2003; LIBARDI, 2005).

O uso do balanço hídrico para o cálculo do consumo de água das culturas, depende do conhecimento de variação de armazenamento de água no solo. No entanto, a medição precisa desse parâmetro é difícil devido a existência da variabilidade espaço-temporal da extração de água na zona radicular das culturas (SILVA et al., 2015).

A variação de armazenamento de umidade no solo tem relação com o fluxo vertical de água no solo em condições não saturadas, sendo consagrado o uso da equação de Darcy-Buckingham para sua determinação (JI et al., 2007; SKAGGS et al., 2006). Essa metodologia apresenta algumas dificuldades de aplicação direta em campo, pois exige o uso da condutividade hidráulica do solo não saturado $K(\theta)$ na forma exponencial, proporcionando margens a grandes erros para pequenas variações nos valores de umidade do solo

(MUBARAK et al., 2010; GHIBERTO & MORAES, 2011; SELLE et al., 2011; WILLIS et al., 1997).

Algumas pesquisas usam diretamente sensores de medida do conteúdo de água no solo, tal como a Reflectometria no Domínio do tempo (TDR), para determinação dos fluxos verticais de água e umidade do solo (BARAM et al., 2012; SELLE et al., 2011; SILVA et al., 2009; SILVA & COELHO, 2013; SILVA & COELHO, 2014; SILVA et al., 2015).

Para determinação da umidade no solo a técnica da TDR usa como base o tempo de propagação de um sinal que é refletido em uma falha no cabo, sendo induzido por meio de uma sonda em sua extremidade. Desta forma é emitido um sinal eletromagnético pelo aparelho do tipo TDR que se desloca por um cabo coaxial de impedância constante sendo geralmente igual 50 ohms chegando até a sonda no fim do cabo, esta sonda sofre estímulos do meio onde está inserida, o sinal continua sendo propagado até fim da mesma e sofre um reflexo e retorna a TDR. O tempo de ida e de volta do sinal eletromagnético no comprimento da haste da sonda irá variar conforme a impedância do meio que a envolve. O valor desta impedância está relacionado com a configuração geométrica da sonda e é inversamente proporcional a constante dielétrica do material circundante.

Logo, o tempo em que o pulso eletromagnético leva para percorrer a haste pode ser considerado como a constante dielétrica do meio onde a sonda está inserida mais o comprimento da haste, sendo descrito na equação a seguir:

$$\Delta t = \frac{2L\sqrt{Ka}}{c} \quad (1)$$

em que, Ka é a constante dielétrica aparente, c é a velocidade da luz, e L é o comprimento da haste da sonda.

Conhecendo-se os procedimentos necessários ao uso dos sensores, pode-se proceder ao cálculo dos componentes do balanço hídrico com algumas vantagens sobre os demais métodos: não há necessidade da predeterminação de propriedades hidráulicas como a curva de retenção, a

função condutividade hidráulica do solo não saturado $K(\theta)$ e a condutividade hidráulica saturada (K_s); o método é portátil; e, pode-se visualizar a dinâmica espaço-temporal da extração de água pelo sistema radicular de uma cultura monitorando a umidade em um perfil tridimensional (SANT'ANA et al., 2012).

Com base na distribuição das sondas nos sentidos verticais e horizontais é possível determinar o fluxo vertical de água no solo em intervalos curtos de tempo por meio da variação de armazenamento, podendo ainda tornar o armazenamento dos dados dessa variável uma prática automática por meio de um data logger, segundo Silva et al., 2009; Silva et al., 2015. Não obstante, a arbitrariedade na definição do número e local de sensores a serem instalados na zona radicular do cultivo pode subestimar ou superestimar os resultados de evapotranspiração de uma cultura indicando valores de coeficiente de cultivo errôneos para o manejo de irrigação.

O número de sensores para monitoramento de água no solo bem como o volume de monitoramento e uma preocupação quando se deseja observar a variação de armazenamento e fazer o manejo da irrigação mais preciso. Para solução desse problema, encontra-se na literatura trabalhos que envolvem modelagem matemática (SOULIS; ELMALOGLOU; DERCAS, 2015; SOULIS & ELMALOGLOU, 2016), bem como trabalhos que se observa uma grande variação dos pontos de monitoramento de umidade em diversas culturas (GREEN & CLOTHIER, 1995; ADREU et al., 1997; WU et al., 1999; GREEN & CLOTHIER, 1999; PALOMO et al., 2002; COELHO et al., 2007; SILVA et al., 2009).

Segundo Allen et al. (2011), não considerar a zona de maior atividade pelo sistema radicular das plantas pode trazer problemas na estimativa de evapotranspiração quando se utiliza o método do balanço de água no solo, sendo esses problemas atribuídos a variabilidade espaço temporal de extração de água pelas raízes da cultura.

Trabalhos que consideram a distribuição de extração de água no solo pela bananeira em duas e três dimensões, mostram que existe variabilidade de extração de água no espaço do solo ocupado pelas raízes da cultura (SILVA et al., 2009; COELHO et al., 2010; SILVA et al., 2012; SILVA et al., 2015). Os

resultados dos autores supracitados motivaram a investigação da hipótese de que existe diferenças nos valores de evapotranspiração do meloeiro determinados pelo balanço de água no solo em função do número de perfis, baterias e números de sensores de umidade instalados na região radicular de uma cultura para monitoramento das variações de umidade no solo sob as condições de um sistema de irrigação por gotejamento.

Os objetivos específicos desse trabalho foram (i) utilizar a técnica da TDR para avaliar a variabilidade da extração de água na zona radicular do meloeiro; (ii) verificar a ocorrência de diferenças nos percentuais de saída de água na zona radicular do meloeiro em diferentes distâncias da planta e profundidade do solo ao se utilizar um, dois, três e quatro perfis de monitoramento de umidade; (iii) indicar as regiões de atividade radicular do meloeiro em diferentes fases de desenvolvimento; (iv) determinar o balanço de água na zona radicular do meloeiro, variedade 'Redondo Gaúcho', (v) e determinar o número e local de sensores a ser instalado na zona radicular da cultura.

Para atingir tais objetivos, as hipóteses, metodologias, análises e exposição dos resultados obtidos foram divididas em dois capítulos:

Capítulo 1: Variabilidade espacial e temporal das depleções de água na zona radicular do meloeiro irrigado.

Capítulo 2: Estimativa da evapotranspiração do meloeiro irrigado em lisímetro de drenagem.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 6, p. 899-920, 2011.
- ANDREU, L.; HOPMANS, J.W.; SCHWANKL, L.J.; Spatial and temporal distribution of soil water balance for a drip-irrigated almond tree. **Agricultural Water Management**, v. 35, n. 1, p. 123-146, 1997.
- BARAM, S.; KURTZMAN, D.; DAHAN, O. Water percolation through a clayey vadose zone. **Journal of Hydrology**, v.424-425, p.165-171, 2012.
- COELHO, E.F.; SILVA, A.J.P.; MIRANDA, J.H. Definição do posicionamento de sensores para monitoramento da água no solo em bananeira irrigada por diferentes sistemas de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 4, p. 608-618, 2010.
- COELHO, E.F.; SANTOS, D. B.; AZEVEDO, C. A. V. Sensor placement for soil water monitoring in lemon irrigated by micro sprinkler. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 46-52, 2007.
- FAO. 2012. Trade. Disponível em: <<http://www.faostat.fao.org>> Acesso em: 15 outubro . 2015.
- FRAITURE, C.; WICHELNS, D. Satisfying future water demands for agriculture. **Agricultural Water Management**. vol. 97, n. 4, p.502–511, 2010.
- GREEN, S.R.; CLOTHIER, B.E. Root water uptake by kiwifruit vines following partial wetting of the root zone. **Plant and soil**, v. 173, n. 2, p. 317-328, 1995.
- GREEN, S.R., CLOTHIER, B., 1999. The root zone dynamics of water uptake by a mature apple tree. **Plant and Soil**, v. 206, n. 1, p. 61-77, 1999.
- GHIRBERTO, P. J.; MORAES, S. O. Comparação de métodos de determinação da condutividade hidráulica em um latossolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.35, n.4, p.1177-1188, 2011.
- HILLEL, D. **Introduction to environmental soil physics**. Academic press, 2003.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. Produção Agrícola Municipal. Disponível em <www.sidra.ibge.gov.br. > Acesso em 6 janeiro. 2017.
- JI, X.B., KANG, E.S., CHEN, R.S., ZHAO, W.Z., ZHANG, Z.H., JIN, B.W.A. Mathematical model for simulating water balances in cropped sandy soil with

conventional flood irrigation applied. **Agricultural Water Management**. v.87, n. 3, p. 337–346, 2007.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 329 p.

MUBARAK, I.; ANGULO-JARMILLO, R.; MAILHOL, J.C.; RUELLE, P.; KHALEDIAN, M. & VAUCLIN, M. Spatial analysis of soil surface hydraulic properties: Is infiltration method dependent?. **Agricultural Water Management**. v.97, n. 10, p.1517-1526, 2010.

PALOMO, M.J; MORENO, F.; FERNANDEZ, J.E.; DIAZ-ESPEJO, A.; GIRON, I.F. Determining water consumption in olive orchards using the water balance approach. **Plant and soil**, v. 215, n. 1, p. 7-17, 1999.

RAMANKUTTY, N. Agriculture and forests: Recent trends, future prospects. **Linkages of sustainability**, v. 4, p. 11-31, 2010.

SANT'ANA J. A. do V.; COELHO, E.F.; SILVA JUNIOR, J.J.; SANTANA JUNIOR, E. B.; VEINROMBER JUNIOR, L. A. A. Desempenho de sondas de TDR manufaturadas de diferentes comprimentos de hastes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**.v.36, n.4, p.1123-1130, 2012.

SELLE, B.; MINASNY, B.; BETHUNE, M.; THAYALAKUMARAN, T.; SUBHASH, C. Applicability of Richards' equation models to predict deep percolation under surface irrigation. **Geoderma**, v.160, n. 3, p.569–578, 2011.

SILVA, A. J. P.; COELHO, E. F.; MIRANDA, J. H. de and WORKMAN, S. R. Estimating water application efficiency for drip irrigation emitter patterns on banana. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. vol.44, n.7, p. 730-737, 2009.

SILVA, A.J.P.; COELHO, E.F.; MIRANDA, J.H. Efficiency of water application of irrigation systems based on microsprinkling in banana plantations. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 3, p. 139-146, 2013.

SILVA, A.J.P. & COELHO, E.F. Estimation of water percolation by different methods using TDR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 73-81, 2014.

SILVA, A.J.P.; COELHO, E.F.; COELHO FILHO, M.A. Water extraction in banana root zone affects the reliability of water balance. **Scientia Agricola**, v.72, n.1, p. 1-10, 2015.

SOULIS, K. X.; ELMALOGLOU, S; DERCAS, N. Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture based drip irrigation scheduling systems. **Agricultural Water Management**, v. 148, p. 258-268, 2015.

SOULIS, K. X.; ELMALOGLOU, S. Optimum Soil Water Content Sensors Placement in Drip Irrigation Scheduling Systems: Concept of Time Stable Representative Positions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 142, n. 11, p. 04016054, 2016.

SKAGGS, T.H.; SHOUSE, P.J.; POSS, J.A. Irrigating forage crops with saline waters. **Vadose Zone Journal**, v. 5, n. 3, p. 815-823, 2006.

WILLIS, T. M.; SCOTT BLACK, A.; MEYER, S. W. Estimates of deep percolation beneath cotton in the Macquarie Valley. **Irrigation Science**. v.17, n. 4, p.141-150,1997.

WU, J.; ZHANG, R.; GUI, S. Modeling soil water movement with water uptake by roots. **Plant and soil**, v. 215, n. 1, p. 7-17, 1999.

CAPÍTULO 1

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS DEPLEÇÕES DE ÁGUA
NA ZONA RADICULAR DO MELOEIRO IRRIGADO.**

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA DEPLEÇÕES DE ÁGUA NA ZONA RADICULAR DO MELOEIRO IRRIGADO.

Autor : Francisco Airdesson Lima do Nascimento

Orientador: Prof. Dr. Alisson Jadavi Pereira da Silva

RESUMO: O conhecimento detalhado da variação espaço-temporal do armazenamento de água do solo na zona radicular das culturas pode promover assertivas a respeito do ideal posicionamento de sensores bem como tornar mais preciso e acurado o cálculo do balanço de água no solo, propiciando um manejo de irrigação mais acertado. Os objetivos deste trabalho foram: (i) avaliar a variabilidade da extração de água na zona radicular do meloeiro; (ii) verificar a ocorrência de diferenças nos percentuais das perdas de água na zona radicular do meloeiro em diferentes distâncias da planta e profundidade do solo ao se utilizar um, dois, três e quatro perfis de monitoramento de umidade; e (iii) indicar, com base em dados de extração de água, as regiões de maior atividade radicular do meloeiro em diferentes fases de desenvolvimento. O trabalho foi conduzido em campo, nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – IF BAIANO, *Campus* Senhor do Bonfim- BA (latitude 10° 26' 44" S; longitude 40° 08' 55" W e altitude de 532 m). Foi feito o plantio de sementes de melão redondo gaúcho em lisímetros de drenagem com volume de 1,12 m³, medindo 1,4 m de comprimento, 1m de largura e 0,8 m de profundidade. Os dados de conteúdo de água no solo foram obtidos por meio de uma TDR100, acoplada a um data logger CR 800, programada em linguagem *basic* para leitura e armazenamento de dados medidos em 40 sondas instaladas no interior do lisímetro. Os dados foram coletados diariamente, em dois tempos: (i) imediatamente antes da irrigação, e (ii) 30 min após a irrigação. A variabilidade de extração de água no solo pelo sistema radicular do meloeiro em função do espaço-tempo não é igual para todas as camadas estudadas e apresenta alta variabilidade. A variabilidade temporal de extração de água é maior do que a espacial. A região indicada como a de maior atividade de extração do sistema radicular do meloeiro irrigado por gotejamento é delimitada, em relação ao caule, em 0,36m de distância radial e 0,3m de profundidade, para todas as fases de desenvolvimento da cultura.

PALAVRAS CHAVE: extração de água no solo, cultivo irrigado, melão.

VARIABILITY SPATIAL AND TEMPORAL DEPLETIONS OF WATER IN SOIL IN ROOT ZONE MELON IRRIGATED.

Author: Francisco Airdesson Lima do Nascimento.

Adviser: Prof. Dr. Alisson Jadavi Pereira da Silva.

ABSTRACT: Soil water storage variations in space and time in the root zone of the crops are essential knowledge, they can promote assertions about the optimal placement of sensors as well as the effective root depth of water extraction, providing a more accurate irrigation management. The objectives of this study were: (i) evaluate the variability of water extraction in the root zone of muskmelon (ii) verify the occurrence of differences in water output percentage in the root zone of melon in different distances plant and soil depth when using one, two, three and four moisture monitoring profiles, and (iii) indicate the regions of root activity of plantain at different stages of development. The work was conducted in the field on the premises of the Federal Institute of Education, Science and Technology Baiano - IF BAIANO Campus Senhor of Bonfim- BA (latitude 10° 26 '44' 'S, longitude 40 ° 08' 55 " W and altitude 532 m). In a lisimétrica area it was done by planting seeds Gaucho round melon on drainage lysimeters in a volume of 1.12 cubic meters, measuring 1.4 m long, 1 m wide and 0.8 m depth data were collected with the help of a TDR100, Campbell Scientific, one data logger CR 800, carrying a program in basic language for reading ka values 40 TDR probes installed inside the lysimeter. The collection was preceded each morning in the intervals before irrigation and 30 min after irrigation. Water extraction variability in soil by the root system of melon due to the space-time is not equal to any soil layer and shows high variability. The region indicated as the most mining activity of the root system of melon and defines the distance of 0,36m in relation to plant and 0.3m deep for all stages of development of culture.

KEY WORDS: water uptake in the soil, irrigated cultivation, melon.

INTRODUÇÃO

As condições de temperatura e insolação do Nordeste brasileiro propiciam o cultivo do meloeiro, porém a irrigação se torna indispensável devido as condições hidro climáticas da região, em sua maioria sendo considerada como semiárida, tornando essencial o uso da irrigação associado aos conhecimentos do manejo da água e seu destino no sistema solo/planta/atmosfera. No manejo da irrigação, o conhecimento detalhado da variação espaço-temporal do armazenamento de água na zona radicular das culturas pode promover assertivas a respeito do ideal posicionamento de sensores bem como a profundidade radicular efetiva de extração de água, propiciando acurácia no cálculo da lâmina de irrigação (SILVA *et al.*, 2015).

As aplicações de metodologias agrícolas sustentáveis devem levar em consideração o processo biofísico de extração de água pelas culturas (GREEN *et al.*, 2006). Estudos envolvendo a distribuição do sistema radicular vêm trazendo recomendações a respeito do posicionamento de sensores e de aplicação de nutrientes para o desenvolvimento das culturas (SOKALSKA *et al.*, 2009; SANT'ANA *et al.*, 2012; LUCAS *et al.*, 2012; CARVALHO., *et al.* 2014). Não obstante, outros estudos revelam que nem sempre a extração de água ocorre em maior parte nas zonas onde se tem maior distribuição das raízes (SILVA *et al.*, 2009; RAZA *et al.*, 2013; SILVA *et al.* 2015).

Algumas proposições para o posicionamento de sensores e aplicação de nutrientes com base no conhecimento das zonas efetivas de extração de água pelas plantas vêm sendo aplicadas (COELHO *et al.*, 2010; GUOHUA *et al.*, 2010), embora se relate nestes estudos que o conhecimento das variações de extração de água na zona radicular de diversas culturas ainda é de extrema necessidade.

Para entender e prever o movimento de água do solo para as raízes alguns modelos vêm sendo recomendados (MOLZ & REMSON, 1970; JONG VAN LIER *et al.*, 2008; COUVREUR *et al.*, 2012). Na estimativa do fluxo de água para as raízes é levado em consideração duas condições: movimento microscópico que leva em consideração o fluxo radial em direção às raízes individuais (GARDNER 1960) e o movimento macroscópico que considera toda

a extensão do sistema radicular desconsiderando a extração pelas raízes individuais (MOLZ & REMSON, 1970; JONG VAN LIER et al., 2008).

A determinação do movimento de água no solo para as raízes ainda é considerada como desafiadora e onerosa (MORADI *et al.*, 2010), os autores em questão utilizaram a técnica da tomografia com nêutrons para visualização do conteúdo de água no sistema radicular do milho e grão-de-bico. A nível de campo, vem sendo empregado o uso da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) (COELHO et al., 2010; SILVA *et al.*, 2015), bem como sonda de Nêutrons e a Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR) (DUURSMA *et al.*, 2011; NEALE *et al.*, 2012).

Em estudos de campo, são coletados os resultados de umidade em diversos pontos da região do solo explorado pelas raízes das culturas. Neste caso, os valores do conteúdo de água no solo são integrados, sendo a variação de armazenamento de água no solo considerada como extração de água pela planta. Sabendo-se que as variações de umidade no solo não acontecem somente por extração radicular, Andreu et al. (1997) desconsideraram a evaporação devido o sombreamento e isolaram a redistribuição de água iniciando a medição da variação de umidade 8 horas após a irrigação. Já Silva et al. (2015) consideram a variação de extração de água pelo sistema radicular da bananeira não deixando de considerar a evaporação em suas medições, porém visando a melhor acurácia e precisão nas medições, monitoraram a variação de umidade em quatro perfis de monitoramento e em quatro profundidades sendo estas: 0,1; 0,3; 0,5 e 07 m.

Grande parte dos trabalhos que visam o movimento de água para as raízes das plantas são focados em culturas como fruteiras a exemplo de (COELHO et al., 2010; Silva et al., 2009; Silva et al., 2012; Silva et al., 2015) e culturas anuais (MORADI et al., 2011e ZAREBANADKOUKI et al., 2012), sendo poucos os trabalhos que envolvem as oleráceas tais como o meloeiro (MOTA et al., 2010). Diante do exposto, o estudo tem como objetivos: (i) avaliar a variabilidade da extração de água na zona radicular do meloeiro; (ii) verificar a ocorrência de diferenças nos percentuais de saída de água na zona radicular do meloeiro em diferentes distâncias da planta e profundidade do solo ao se utilizar um, dois, três e quatro perfis de monitoramento de umidade; e (iii)

indicar as regiões de atividade radicular do meloeiro em diferentes fases de desenvolvimento.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em campo nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – IF BAIANO, *Campus Senhor do Bonfim- BA* (latitude 10° 26' 44" S; longitude 40° 08' 55" W e altitude de 532 m). Implantou-se uma área de cultivo de melão em uma área com 25 m de largura e 35 m de comprimento, no dia 03/05/2016, semeando-se o melão redondo gaúcho. Na área de cultivo, foram instalados 21 lisímetros de drenagem com volume de 1,12 m³, medindo 1,4 m de comprimento, 1m de largura e 0,8 m de profundidade (Figura 1).



Figura1- Lisímetro na fase de instalação de sondas à esquerda e planta do meloeiro na fase de floração à direita.

O solo utilizado para completar o preenchimento do lisímetro foi proveniente da área de plantio, sendo algumas características físico-hídricas apresentadas na Tabela 1.

Tabela1- Valores da curva de retenção e classificação textural do solo.

Prof	Retenção de água (cm ³ cm ⁻³)						ds (g cm ³)	Classificação textural do solo
	0,6 m	1 m	3,3 m	30 m	50 m	150 m		
-								-
0- 0,2 m	0,198	0,163	0,144	0,135	0,129	0,119	1,67	Areno- Argilosa
0,2 -0,4m	0,215	0,184	0,162	0,147	0,135	0,128	1,71	Areno- Argiloso

No intuito de induzir uma livre drenagem, os lisímetros instalados contam com uma camada de 0,1m de brita e 0,1m de areia lavada em sua extremidade inferior, bem como tubos de PVC perfurados que levam a água drenada para torneiras na parte mais baixa da área de cultivo.

O método de irrigação utilizado foi o de microirrigação, sendo instalado um sistema de gotejamento, utilizando-se emissores da marca KATIF com vazão de 2,3 L h⁻¹, espaçados de 0,65 m entre emissores e 2,7m entre linhas, perfazendo um gotejador por planta. Após configuração do sistema de irrigação, foi feito o ensaio de distribuição e uniformidade de água, seguindo a metodologia proposta por Christiansen (1942), por meio do qual verificou-se um valor médio de uniformidade de distribuição de 95%.

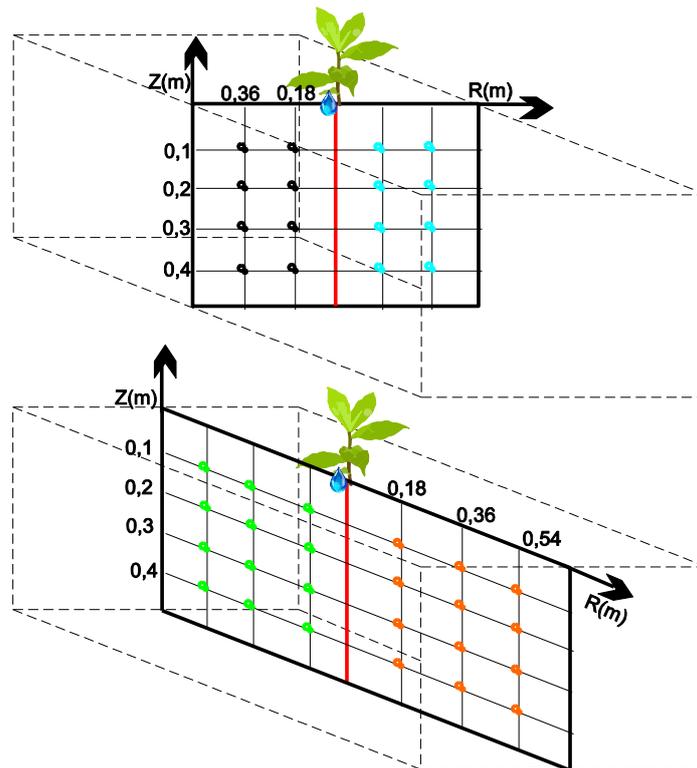
Foi monitorada a umidade no interior de um lisímetro localizado no centro da área de plantio. A escolha do lisímetro no centro da área de plantio se deu para diminuir os efeitos de advecção que as plantas da bordas sofrem. Para o monitoramento da umidade, foram construídas em laboratório, sondas de TDR com as seguintes características: três hastes de aço inoxidável de 0,003m de diâmetro com comprimento efetivo de 0,1 m fora da resina e espaçadas entre si por 0,017 m; cabos coaxiais de 50 ohms; comprimento da camada de resina de poliéster no início das hastes de 0,05 m. A equação de calibração das sondas construídas foi obtida com base no ajuste da constante dielétrica aparente (Ka) obtidas por meio da TDR em relação ao conteúdo de umidade gravimétrica (θ), sendo a relação obtida entre (Ka x θ) expressa na equação1.

$$\theta = 6.10^{-5} ka^3 - 3,4.10^{-3} ka^2 + 7,63.10^{-2} ka - 0,4234 \quad R^2 = 0,987 \quad (1)$$

Em campo, os dados foram coletados com auxílio de uma TDR100, acoplada a um data logger CR 800. Procedeu-se a elaboração de um programa em linguagem *basic* para leitura e armazenamento dos valores de k_a obtidos nas 40 sondas de TDR instaladas no interior do lisímetro. A coleta foi procedida pela manhã, em dois tempos: (i) imediatamente antes da irrigação; e (ii) 30 min após a irrigação.

O manejo da irrigação foi feito com base nos resultados de umidade do solo obtidos com a TDR, verificando-se o volume de água necessário para retornar o solo a capacidade de campo. As irrigações foram feitas seguido um turno de rega de 2 dias.

Quarenta sondas de TDR foram distribuídas no interior do lisímetro em quatro perfis de monitoramento: P1, P2, P3, P4 conforme ilustrado na figura 2. Fez-se com que P1, P2, P3 e P4 representassem as parcelas experimentais. As parcelas foram divididas em subparcelas, quais sejam: Posições de monitoramento em relação à Distância da planta (R_i) e Profundidade do solo (Z_i), formando-se assim um experimento em parcelas subdivididas. As diferentes posições de monitoramento foram: 0,18; 0,36; 0,54 m para os perfis 2 e 4, já nos perfis 1 e 3 o posicionamento das sondas foram 0,18 e 0,36 m.



Os pontos de cor preta representam as sondas de TDR instaladas no Perfil 1
 Os pontos de cor azul representam as sondas de TDR instaladas no Perfil 2
 Os pontos de cor laranja representam as sondas de TDR instaladas no Perfil 3
 Os pontos de cor verde representam as sondas de TDR instaladas no Perfil 4
 O desenho da gota indica o posicionamento do gotejador

Figura 2- Distribuição das sondas de TDR no interior do lisímetro.

As repetições foram representadas pelos eventos de irrigação, tomando como base os seis eventos de irrigação em cada fase de desenvolvimento da planta.

As diferentes fases fenológicas da cultura: I) fase de crescimento vegetativo - do plantio até a cobertura total do solo (10/05/2016 a 23/05/2016); II) fase de floração– do surgimento da primeira inflorescência até o aparecimento do primeiro fruto (23/05/2016 a 01/06/2016); III) fase de floração e crescimento do fruto– do surgimento da primeira flor até a sua formação total (01/06/2016 a 22/06/2016) ;IV) fase de maturação – da formação completa do fruto até a colheita (22/06/2016 a 04/07/2016).

A caracterização biométrica do meloeiro no início das diferentes fases de desenvolvimento encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2- Caracterização biométrica do meloeiro em diferentes fases, durante o período experimental.

Fase da Planta	Comprimento do ramo Principal (m)	Número de Folhas	Número de Flores	Número de Frutos
Inicial	0,4	13	-	-
Crescimento vegetativo	1	35	-	-
Floração e Crescimento do Fruto	1,3	75	7	-
Maturação	1,34	75	2	4

A extração de água (EA) da zona radicular do meloeiro foi quantificada pela equação 2 aplicada a uma região de interesse no perfil (Ri,Zi):

$$Ea = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\int_0^L \theta_{t+1} dz - \int_0^L \theta_{t2} dz \right)}{n} \quad (2)$$

Em que: EA é o valor da extração de água do solo em uma região de interesse no perfil (Ri,Zi) – cm³ cm⁻³; θ_{t+1} é o valor de umidade 30 minutos após o fim da irrigação em um ponto de monitoramento (Ri,Zi); θ_{t2} é o valor de umidade imediatamente antes da irrigação subsequente em um ponto de monitoramento (Ri,Zi), sendo Ri o espaçamento entre as sondas e Zi a profundidade de instalação das sondas.

Para cada ponto de monitoramento determinou-se as percentagens de água disponível no solo, tomando como base os valores de umidade referentes à capacidade de campo e ponto de murcha permanente, empregando-se a equação 3:

$$AD_{(Ri,Zi)} = \left(\frac{\theta_{(Ri,Zi)} - \theta_{pmp}}{\theta_{cc} - \theta_{pmp}} \right) \quad (3)$$

Em que AD(Ri,Zi) é a percentagem de água disponível em um ponto (Ri,Zi) do perfil do solo; $\theta_{(Ri,Zi)}$ é a umidade volumétrica em um ponto (Ri,Zi) do perfil do

solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); θ_{pmp} é a umidade referente ao ponto de murcha permanente e θ_{cc} é a umidade referente a capacidade de campo.

A variabilidade da extração de água da zona radicular do meloeiro foi obtida em função das diferentes posições de monitoramento de umidade e do tempo, sendo medida com base nos valores de coeficiente de variação, seguindo os critérios propostos por Warrick & Nielsen (1980) em que se considera a variabilidade como baixa quando o $\text{CV} < 12 \%$, média quando $12 \% < \text{CV} < 60 \%$ e alta quando $\text{CV} \geq 60 \%$.

Em cada fase de desenvolvimento da planta, procedeu-se a uma análise descritiva dos dados de extração de água do solo com base nos valores da média, coeficiente de variação, assimetria e curtose, calculados para quatro perfis e seis eventos de irrigação.

Verificou-se a normalidade dos dados percentuais obtidos em cada posição de monitoramento em relação ao total de água extraído do perfil nos quatro diferentes perfis com base na metodologia proposta por Jones (1969) com um grau de confiança de 95%.

Para considerar como profundidade e distância efetiva de extração de água adotou-se o limite de a região que se encontrou o somatório a partir de 70% de extração de água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição da extração de água na zona radicular do meloeiro

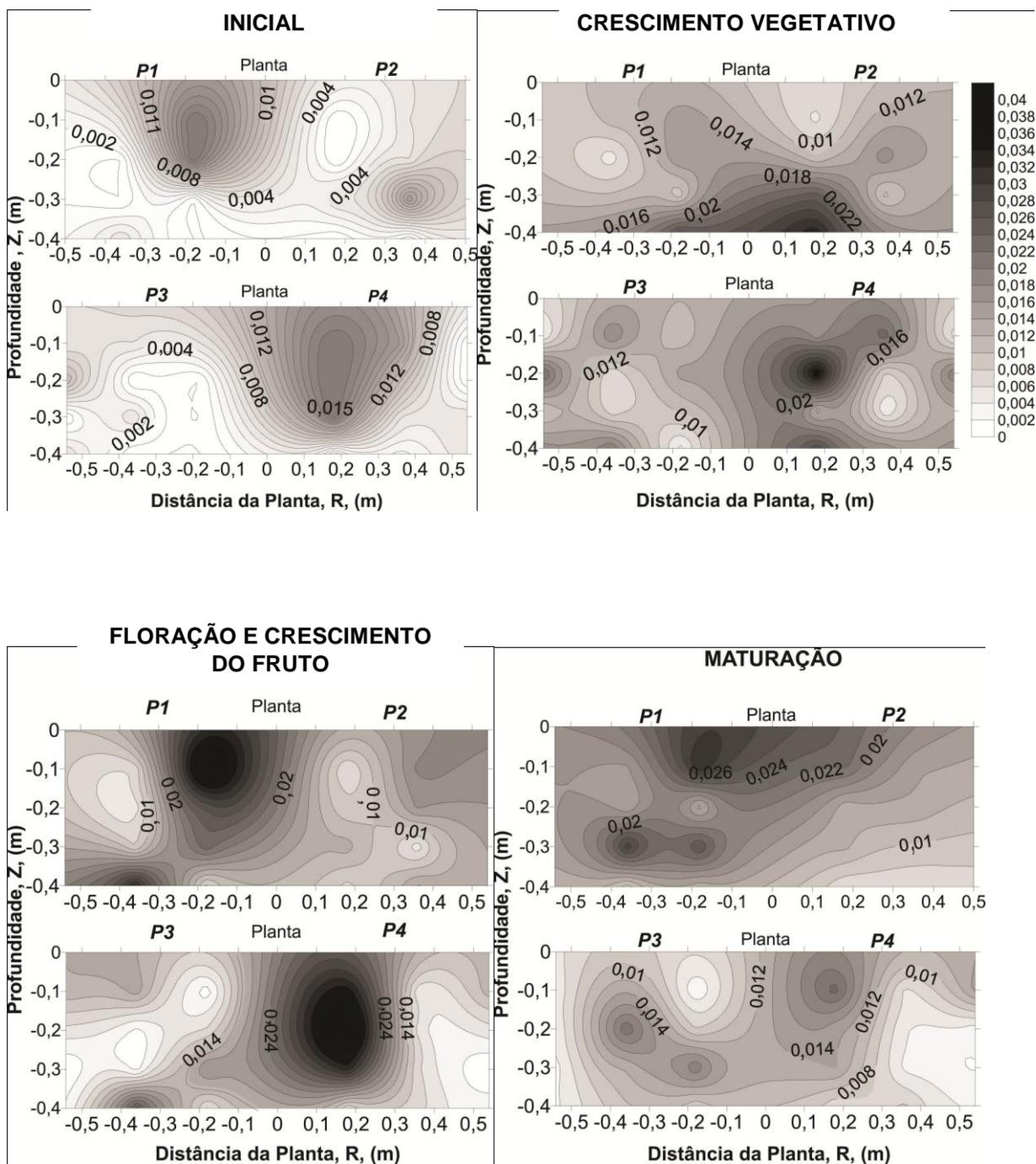
Na figura 3 são expressas as diferenças de distribuição de extração de água nos perfis com as mudanças de fase da cultura do melão. A ocorrência de extração de água acontece nas camadas (Z-0,1 a Z-0,4m) para todas as fases de desenvolvimento do meloeiro. A maior intensidade de extração ocorre na fase de floração e crescimento do fruto com valores variando de 0,004 a 0,04 $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, sendo as maiores extrações de água observadas no perfil 1 e 4, com distância (R) de 0 a 0,3 m em relação planta e na profundidade (Z) de 0 a 0,3m. Já os menores valores de extração ocorrem para fase de crescimento vegetativo, variando de 0 a 0,015 $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, nessa fase a maior atividade de extração também ocorre no perfil 1 e 4 nas mesmas regiões que ocorreram a maior atividade de extração para o crescimento fruto.

Na fase de floração os valores de extração variaram de 0,004 a 0,036, sendo a maior ocorrência no perfil 3 e 4, na profundidade de 0,4 m e na distância de 0,3 m. Este comportamento de extração, para essa fase pode ser atribuído a ocorrência da drenagem de 24 mm devido a precipitação acumulada de 53 mm. Isto levando em consideração que a extração considerada nesse estudo é todas as saídas de água do sistema (drenagem, evaporação, absorção de água pela raiz).

Para fase de maturação a extração varia de 0,008 a 0,028 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, ocorrendo a maior atividade de extração nas mesmas regiões observadas para fase de floração e crescimento do fruto e crescimento vegetativo.

A ocorrência de maior extração na região de 0 a 0,3 m de profundidade do solo e de 0 a 0,3 m de distância em relação a planta, encontradas no perfil 1 e 4, em três das fases do desenvolvimento da cultura, pode ser atribuída ao posicionamento do emissor, disponibilidade hídrica e sua distribuição no solo. Isso indica que a extração de água na zona radicular do meloeiro além das condições de solo e clima é condicionada pelo sistema de irrigação e seu arranjo para distribuição de água. A expansão das zonas de extração de água, proporcional ao aumento da disponibilidade hídrica foi observado por (COELHO., *et al* 2010) em que verificaram o crescimento das zonas de extração conforme a disponibilidade de água proporcionada pela quantidade de emissores por planta na cultura da bananeira. Esse comportamento concorda com os resultados encontrados por (COELHO & OR 1996; SANTOS., *et al* 2005; COELHO., *et al* 2010).

Observa-se que a extração de água não aumenta tanto em relação a distância da planta ou em relação a profundidade, o que nota é que a extração e aumenta em relação as mudanças de fase. Indicando assim que a distribuição de extração não aumenta tanto em relação ao o espaço e sim com relação ao tempo dentro dos perfis de monitoramento. Ocorrência similar foi observada por Silva *et al* (2015), quando avaliou a variabilidade de extração de água pelo sistema radicular da bananeira irrigada por microaspersão.

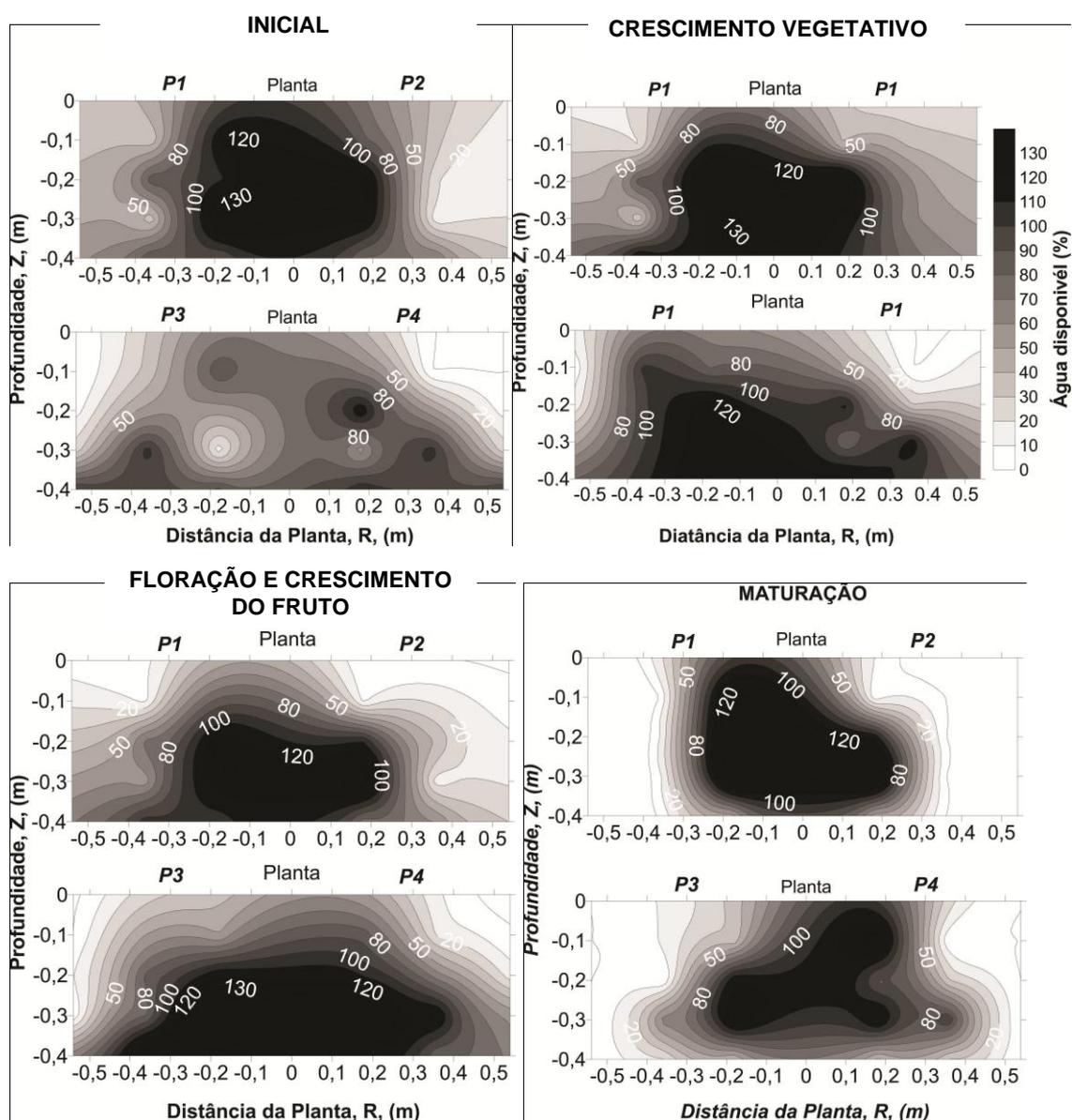


P1- perfil 1 de monitoramento de umidade; *P2*- perfil 2 de monitoramento de umidade;
P3- perfil 3 de monitoramento de umidade; *P4*- perfil 4 de monitoramento de umidade;

Figura 3- Distribuição tridimensional da extração de água ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) da zona radicular do meloeiro irrigada em diferentes fases de desenvolvimento.

Os valores apresentados na Figura 4 são médias dos valores de conteúdo de água disponível no solo, obtidas nos mesmos eventos de

irrigações em que foram calculados os valores de extração de água apresentados na Figura 3. Observou-se que os conteúdos de água disponível nos quatro perfis de monitoramento estão sempre próximos a 100% em todas as profundidades de monitoramento, indicando adequação do manejo da irrigação com base na variação do armazenamento de água, na zona radicular do meloeiro, devido à reposição de água no solo ser calculada em função da integração do volume de água necessário para retornar à umidade do solo à capacidade de campo. Ainda na Figura 4 é possível observar que a distribuição fica em torno de 100% com a distância de 0 a 0,4m de distância da planta em todas as fazes da cultura.



P1- perfil 1 de monitoramento de umidade; P2- perfil 2 de monitoramento de umidade; P3- perfil 3 de monitoramento de umidade; P4- perfil 4 de monitoramento de umidade.

Figura 4- Distribuição dos valores do conteúdo de água disponível no solo (%) no interior do lisímetro 30 min após a irrigação para as diferentes fases de desenvolvimento do meloeiro.

Com base nos valores do coeficiente de variação obtidos com os valores da variabilidade de água disponível, considerando todas as sondas instaladas em uma mesma profundidade de monitoramento, pode-se considerar de média a alta variabilidade dos teores de água disponível (AD) após a irrigação, em todas as camadas do solo avaliadas (Tabela 3). Em todas as fases da cultura a profundidade de 0,1m apresentou alta variabilidade de AD com valores de 83,82 a 173,45 %. Para o crescimento vegetativo somente a profundidade de 0,4 m apresentou média variabilidade (12,04%) de AD. Já na floração a alta variabilidade de AD sendo a maior variabilidade observada na profundidade de 0,1 m. Na fase de maturação todas as profundidade apresentaram alta variabilidade de AD.

A variabilidade de extração de água (EA), assim como (AD) e considerada de média a baixa apresentando valores de 43,12 a 141,42 %. As profundidades que apresentaram média variabilidade (EA) foram: 0,1; 0,3 e 0,4m, na fase de crescimento vegetativo; 0,4m, na fase de floração e crescimento do fruto; 0,2 e 0,4 na maturação.

Ainda com base nos dados da tabela observa-se que a variabilidade da extração de água não apresenta relação direta com a variabilidade de água disponível no solo. O mesmo foi observado por (SILVA et al., 2015) observaram que a variabilidade de extração de água na zona radicular da bananeira não apresenta relação bem definida com a disponibilidade de água.

Tabela 3.-Valores de coeficiente de variação (%) para a distribuição da extração de água (E.A) e água disponível (A.D) radialmente a cultura do meloeiro em diferentes profundidades (Z).

Z (m)	CRE.VEGETATIVO		FLORAÇÃO		CRE. FRUTO		MATURAÇÃO	
	E.A	A.D	E.A	A.D	E.A	A.D	E.A	A.D
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)								
0,1	122,47	92,25	47,69	83,82	110,84	101,61	61,35	173,45
0,2	125,88	74,49	62,20	53,75	92,01	57,64	52,49	116,21
0,3	124,57	81,46	53,06	55,69	71,07	64,27	70,61	90,50
0,4	141,42	12,04	43,12	51,48	55,46	31,91	33,91	90,50

EA- extração de água; AD- água disponível.

Distribuição percentual do total de água extraído em camadas no perfil do solo.

Na tabela 4 são apresentados os resultados da estatística descritiva para os valores percentuais de extração de água na zona de atividade radicular do meloeiro quantificados em diferentes posições de monitoramento em seis eventos de irrigação em cada um dos estádios de desenvolvimento da cultura. Os resultados foram utilizados para aceitar ou rejeitar a seguinte hipótese: a variação de extração de água é igual nos quatro perfis de monitoramento. Os valores em percentagem de variação de extração de água (Tabela 4) foram considerados como médio a alto seguindo os critérios de classificação proposto por Warrick & Nielsen (1980).

Seguindo os critérios proposto por Jones (1969) para aceitar a hipótese de que uma amostra com 24 valores segue distribuição normal (4 perfis x 6 irrigações) os valores limites de assimetria (G1) e curtose (G2) do conjunto de dados de percentagem de extração de água obtidos no interior do lisímetro em cada posição de monitoramento (R_i, Z_i) é $-0,96 \leq G1 \leq 0,96$ e $-1,20 \leq G2 \leq 2,32$ ($n=24$). Como as sondas instaladas com a distância de 0,54 m da planta só aparecem em dois perfis, os valores de assimetria (G1) e Curtose (G2), foram condicionados para 12 resultados (2 perfis x 6 irrigações), sendo observado que G1 variou de -1,278 a 1,278 e G2 de -1,56 a 3,12. Com base nos valores percentuais de extração de água pelo meloeiro em distância da planta R e em profundidade Z, se observa que nem todos os valores seguem a distribuição normal. Ocorreu distribuição normal nos valores percentuais de extração de água tanto em profundidade Z, quanto em distância R da planta. Essa ocorrência não é predominante para todos os valores, havendo exceção na fase de floração em relação às distâncias da planta, bem como o encontrado para a profundidade de 0,2 m nas fases crescimento vegetativo e floração.

Tabela 4.-Estatística descritiva para as percentagens de extração de água na região explorada pelas raízes do meloeiro em cada posição de monitoramento no solo (%) relativas a quatro perfis e a seis eventos de irrigação em cada fase de desenvolvimento do meloeiro.

R	\bar{X}	($\pm S$)	CV	G1	G2	Z	\bar{X}	($\pm S$)	CV	G1	G2
m	%		%			m	%	%			
INICIAL											
0,18	39,90*	34,53	86,54	0,38	1,48	0,1	34,12*	33,96	99,52	0,52	0,99
0,36	41,21*	33,96	82,41	0,92	1,26	0,2	20,54	16,75	81,53	-0,10	0,96
0,54	45,53*	33,45	73,48	1,19	2,24	0,3	22,83*	29,38	128,71	0,63	0,63
						0,4	7,60*	8,92	117,33	0,75	0,45
CRESCIMENTO VEGETATIVO											
0,18	47,04	15,50	32,94	-0,26	0,42	0,1	24,06*	16,91	70,26	0,38	0,45
0,36	41,82	15,20	36,35	-0,53	0,68	0,2	25,45	13,33	52,37	-0,09	0,57
0,54	23,00	16,56	71,98	-2,12	0,91	0,3	22,10*	11,64	52,69	0,39	0,37
						0,4	28,73*	18,47	64,28	0,62	0,63
FLORAÇÃO E CRESCIMENTO DO FRUTO											
0,18	46,36*	26,73	57,66	0,13	1,38	0,1	30,05*	27,62	91,91	0,19	0,74
0,36	42,92*	27,66	64,43	0,53	1,55	0,2	23,05*	12,59	54,61	0,05	0,49
0,54	22,08*	24,97	113,09	-0,51	1,19	0,3	17,11*	15,14	88,47	1,37	0,49
						0,4	18,64*	24,20	129,85	0,68	0,79
MATURAÇÃO											
0,18	52,24	21,16	40,50	-0,55	0,61	0,1	29,25*	20,82	71,20	0,95	0,88
0,36	42,31*	21,07	49,81	0,34	0,65	0,2	34,85*	52,09	149,49	0,93	0,44
0,54	20,21	14,20	70,25	-1,57	0,67	0,3	24,60*	12,87	52,29	0,68	0,46
						0,4	18,17*	12,33	67,87	0,59	0,37

*segue distribuição normal (Jones, 1969); R- Distância da planta; Z – profundidade; C.V- Coeficiente de variação; G1- Assimetria; G2- Curtose; \bar{X} - representa a média; ($\pm S$)- representa o desvio padrão

Recomendação da região efetiva de extração de água na zona radicular do meloeiro

Na Tabela 5 são expressos os valores de percentagem de extração para cada perfil em relação a distância da planta (R) e profundidade (Z). A percentagem de extração ocorreu em maior intensidade nas distâncias de 0 a 0,36m em todas as fases de desenvolvimento da cultura em todos os perfis de monitoramento. Já em profundidade a predominância da percentagem de extração ocorreu até a profundidade de 0,3 m, ocorrendo em todos os perfis para todas as fases de desenvolvimento da cultura sendo os maiores valores encontrados na camada de 0,1m de profundidade com 0,18 m de distância em relação a planta.

Para a fase de crescimento vegetativo os maiores valores de percentagem de extração ocorreram no perfil 1 e 2 com 93,22 e 80% em relação a uma distância de 0,18 m. Em relação a profundidade os maiores valores foram observados no perfil 1 e 4 sendo os seus respectivos valores

iguais a 54,02 e 63,95 %. Na fase de floração os maiores valores de extração ocorrem no perfil 2 sendo 57,56% para a distância de 0,36m e no perfil 4 para distância de 0,18 m com um valor de 62,47%. Em relação a Z na mesma fase de desenvolvimento os maiores valores foram encontrados 33,59 no perfil 1 e 37,55 no perfil 4 ambos na profundidade de 0,1 m.

Para fase de crescimento de fruto em relação a R os maiores valores são observados em P1 e P4 na distância de 0,18m com 77,31 e 71,96 %. A mesma ocorrência é observada para fase de maturação mostrando valores de 51,50 %para P1 e 49,11% para P4. Para as mesmas fases os maiores valores são encontrados na profundidade de 0,1m no perfil 1 e 2.

Tabela 5. Médias dos valores percentuais de extração de água no solo obtidos em diferentes posições de monitoramento de quatro perfis na região do sistema radicular do meloeiro.

R	x P1	x P2	x P3	x P4	Z	x P1	x P2	x P3	x P4
m					m				
CRESCIMENTO VEGETATIVO									
0,18	93,22	80,91	46,74	62,46	0,1	54,02	8,33	22,22	63,95
0,36	7,64	22,73	34,57	35,53	0,2	31,80	34,09	15,56	11,14
0,54	-	-	36,87	1,17	0,3	1,46	50,00	49,59	10,42
					0,4	0,00	0,00	5,83	0,00
FLORAÇÃO									
0,18	36,09	44,39	46,73	62,47	0,1	33,59	30,48	32,35	37,55
0,36	46,05	57,56	35,55	20,29	0,2	33,88	29,71	31,82	33,43
0,54	-	-	11,08	14,22	0,3	24,49	26,73	22,78	17,49
					0,4	7,44	10,27	9,31	8,43
FLORAÇÃO E CRESCIMENTO DO FRUTO									
0,18	77,31	37,04	40,53	71,96	0,1	44,56	45,81	30,80	24,93
0,36	22,69	62,96	50,80	25,59	0,2	29,99	31,12	36,27	33,72
0,54	-	-	8,67	2,45	0,3	17,29	22,96	22,82	29,74
					0,4	3,79	2,71	3,44	7,37
MATURAÇÃO									
0,18	51,50	39,77	33,38	49,11	0,1	33,04	36,86	18,18	32,47
0,36	34,22	45,94	43,78	25,89	0,2	22,77	25,91	31,11	28,06
0,54	-	-	8,55	10,71	0,3	31,81	23,54	36,28	22,49
					0,4	5,25	12,88	9,23	12,34

P1- perfil 1 de monitoramento de umidade; P2- perfil 2 de monitoramento de umidade; P3- perfil 3 de monitoramento de umidade; P4- perfil 4 de monitoramento de umidade.

Na Tabela 6 são expressos os valores percentuais médios bem como seu desvio padrão para a região delimitada pelas efetividades de extração em distância da planta e profundidade, em todas as fases de desenvolvimento. Na fase inicial de desenvolvimento, 86,56% da água extraída nos perfis ocorreu até a camada de z=0,3m. Acontece o mesmo para o crescimento vegetativo, floração e crescimento do fruto sendo respectivamente as extrações iguais a:

75,76; 77,06 e 70,34%. Considerando como a região de maior intensidade de saída de água aquela que se obtém como limite mínimo 70% do total de água extraído nas dimensões laterais e em profundidade, verificou-se que a região ideal para instalação de sensores e aplicação de nutrientes na zona radicular do meloeiro está compreendida entre $R=0,36$ m da planta e $Z=0,3$ m de profundidade (Tabela 6).

Tabela 6- Limites de distância e profundidade efetiva da atividade efetiva de extração de água pelo meloeiro em diferentes fases de desenvolvimento.

Fase de desenvolvimento vegetativo	Distância efetiva do meloeiro (m)	\bar{X} (%)	($\pm S$)	Profundidade efetiva (m)	\bar{X} (%)	($\pm S$)
Inicial	0,36	80,98	2,95	0,3	86,56	39,44
Crescimento vegetativo	0,36	76,24	21,14	0,3	75,76	15,64
Floração crescimento do fruto	0,36	78,94	21,40	0,3	77,06	30,94
Maturação	0,36	77,05	26,45	0,3	70,34	23,11

\bar{X} - representa a média; ($\pm S$)- representa o desvio padrão

Levando em consideração que o volume de solo para determinação do balanço hídrico do meloeiro e de outras *cucurbitáceas* é escolhido arbitrariamente (MEDEIROS et al., 2005; MOTA et al., 2010), os resultados aqui encontrados servem para indicar também o volume de monitoramento do balanço hídrico sendo possível o controle da umidade onde o sistema radicular apresenta sua maior atividade.

A indicação do posicionamento dos sensores corrobora o proposto por (Silva et al., 2003), que relata que o sistema radicular do meloeiro sob as condições de irrigação localizada, tem seu crescimento radicular até a profundidade de 0,3 m e se limita as condições do bulbo molhado formado. A profundidade aqui indicada é similar ao resultado encontrado por Costa et al. (2003) que avaliou a distribuição do sistema radicular do meloeiro em função da aplicação de lâminas em excesso, déficit e a necessidade real da cultura foi

observado pelos autores que a maioria das raízes se mantiveram entre 0 a 0,3 m de profundidade com 91% do seu sistema radicular dispostas nesse plano.

CONCLUSÕES

A variabilidade de extração de água no solo pelo na zona radicular do meloeiro em função do espaço-tempo não é igual para todas as camadas estudadas e apresenta alta variabilidade.

A ocorrência da variabilidade de extração de água na zona radicular do meloeiro é maior em relação ao tempo do que em relação ao espaço.

A região indicada como a de maior atividade de extração na zona radicular do meloeiro irrigado por gotejamento é delimitada, em relação ao caule, pela distância radial de 0,36m e 0,3m de profundidade, para todas as fases de desenvolvimento da cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREU, L.; HOPMANS, J.W.; SCHWANKL, L.J.; Spatial and temporal distribution of soil water balance for a drip-irrigated almond tree. **Agricultural Water Management**. vol.35, p.123-146, 1997.

ATKINSON, D. The distribution and effectiveness of the roots of tree crops. **Horticultural Reviews**. vol. 2, p. 424-490, 1981.

CARVALHO, G.C.; COELHO, E.F.; PAMPONET, A.J.M. determinação do posicionamento de sensores de água do solo em mamoeiro irrigado por microaspersão e gotejamento. **Magistra**, vol .26,n.3, p.286-295,2014.

COUVREUR, V.; VANDERBORGHT, J.; JAVAUX, M. A simple three-dimensional macroscopic root water uptake model based on the hydraulic architecture approach. **Hydrology and Earth System Sciences**. Vol.16, p.2957–2971, 2012.

CLOTHIER B. E., GREEN S. R. Rootzone Processes and the efficient use of irrigation water. **Agricultural Water Management**. vol. 25, p. 1-12, 1994.

COELHO, E.F.; Or, D.; A parametric Model for Two-Dimensional Water Uptake Intensity by Corn Roots under Drip Irrigation. **Soil Science Society America Journal**, vol.60, p.1039-1049, 1996.

COELHO, E.F.; SILVA, A.J.P.; MIRANDA, J.H. Definição do posicionamento de sensores para monitoramento da água no solo em bananeira irrigada por diferentes sistemas de irrigação localizada. **Eng. Agríc.** vol.30 n.4. 2010.

COSTA, M. da C.; SILVA, M.C. de C.; MEDEIROS, J.F. de; PORTO FILHO, F. de Q. Distribuição do sistema radicular do meloeiro sob diferentes lâminas e salinidades da água de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 2, p. 106-112, maio/ago. 2003.

DUURSMA R.A.; BARTON, C.V.M.; EAMUS, D.; MEDLYN, B.E.; ELLSWRTH, D.S.; FORSTER, M.A.; TISSUE, D.T.; LINDER, S.; MCMURTRIE, R.S.; Rooting depth explains [CO₂] × drought interaction in *Eucalyptus saligna*. **Tree Physiol.** vol.31, n.9, p.922-931, 2011.

GARDNER, W.R. Dynamic aspects of water availability to plants. **Soil Science.** vol.89, p.63–73, 1960.

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

GUOHUA, L.; KANG, Y.; LI, L.; WAN, S.; Effect of irrigation methods on root development and profile soil water uptake in winter wheat. **Irrigation Science,** vol.28, p.387-398, 2010.

JONG VAN LIER, Q.; VAN DAM, J.C.; METSELAAR, K, de JONG R, DUIJNISVELD WHM. Macroscopic root water uptake distribution using a matric flux potential approach. **Vadose Zone Journal.** vol. 7, p.1065–1078, 2008.

JONES, T. A. Skewness and kurtosis as criteria of normality in observed frequency distributions. **Journal Sedimentary Petrology,** Northeast Georgia, v.39, p.1622-1627, December, 1969.

LUCAS, A. A. T.; FRIZZONE, J. A.; COELHO FILHO, M. A. Características da distribuição radicular de maracujazeiro sob fertirrigação. **Irriga.** v. 17, n.2, p.245- 250, 2012.

MEDEIROS, G.A. de; ARRUDA, F.B.; SAKAI. Eficiência do uso da água do feijoeiro irrigado: influência da densidade de plantio. **Revista Ecosistema,** Espírito Santo do Pinhal, v. 28, n. 1/2, p. 83-89, jan./dez. 2003.

MOLZ, F.J.; REMSON, I. Extraction term models of soil moisture use by transpiring plants. **Water Resources Research.** vol. 6, p.1346–1356, 1970.

MORADI, A.B.; CARMINATI, A.; VETTERLEIN, D.; VONTOBEI, P.; LEHMANN, E.; WELLER, U.; HOPMANS, J.W.; VOGEL, H.J.; OSWALD, S.E. Three-dimensional visualization and quantification of water content in the rhizosphere. **New Phytologist.** vol.192, p.653-663. 2011.

MOTA, J.C.A.; LIBARDI, P.L.; BRITO, A. S.; DE ASSIS JUNIOR, R.N.; AMARO FILHO, J. Armazenagem de água e produtividade de meloeiro irrigado por gotejamento, com a superfície do solo coberta e desnuda. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v 34, p.1721-1731, 2010.

NEALE, C. M.U.; GELI, H. M. E.; KUSTAS, W.P.; JOSEPH, G. A.; GOWDA.; EVETT, S. R.; PRUEGER, J. H.; HIPPS, L. E.; HOWELL, T.A. Soil water content

estimation using a remote sensing based hybrid evapotranspiration modeling approach. **Advances in Water Resources**. vol.50, p. 152-161, 2012.

NNYAMAH, J.U.; BLACK, T.A. Rates and patterns of water uptake in a Douglas fir forest. **Soil Science Society of America**. vol.41, p.972-979, 1977.

RAZA, A.; FRIEDEL, J.K.; MOGHADDAM, A.; ARDAKANI, M. R.; LOISKANDL, W.; HIMMELBAUER, M.; BODNER, G. Modeling growth of different lucerne cultivars and their effect on soil water dynamics. **Agricultural Water Management**. Vol. 119, p. 100-110, 2013.

SANT'ANA, J. A. V.; COELHO, E. F.; FARIA, M. A.; SILVA, E. L.; DONATO, S. L. R. Distribuição de raízes de bananeira 'Prata-Anã' no segundo ciclo de produção sob três sistemas de irrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 34, p.124-133, 2012.

SILVA, A.J.P.; COELHO, E.F.; COELHO FILHO, M.A. Water extraction in banana root zone affects the reliability of water balance. **Scientia. Agricola**, v.72, n.1, p. 1-10, 2015.

SILVA, A.J.P ; COELHO, E. F.; MIRANDA, J. H. Sensor placement for irrigation scheduling in banana using micro-sprinkler system. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 1, p. 15-23, 2012.

SILVA, A. J. P. da; COELHO, E. F.; MIRANDA, J. H. de and WORKMAN, S. R. Estimating water application efficiency for drip irrigation emitter patterns on banana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. vol.44, n.7. 2009.

SILVA, H.R. da; COSTA, N.D.; CARRIJO, O.A. Exigências de clima e solo e época de plantio. In: SILVA, H.R. da ; COSTA, N.D. (Ed.) **Melão produção: aspectos técnicos**. Brasília: EMBRAPA, 2003. cap. 5, p. 23-28. (Frutas do Brasil, 33).

SOKALSKA, D. I.; HAMAN, D.Z.; SZEWCZUK, A.; SOBOTA, J.; DEREN, D. Spatial root distribution of mature Apple trees under drip irrigation system. **Agricultural Water Management**. vol. 96, p. 917-924, 2009.

ZAREBANADKOUKI, M. KIM, Y.X.; MORADI, A.B.; VOGEL, H.J.; KAESTHER, A. CARMINATI, A. Quantification and Modeling of Local Root Water Uptake Using Neutron Radiography and Deuterated Water. **Vadose Zone Journal**. v. 11, n. 3, 2012.

CAPÍTULO 2

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MELOEIRO IRRIGADO EM LISÍMETRO DE DRENAGEM

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MELOEIRO IRRIGADO EM LISÍMETRO DE DRENAGEM

Autor: Francisco Airdesson Lima do Nascimento.

Orientador: Prof. Dr. Alisson Jadavi Pereira da Silva.

RESUMO: Uma limitação na determinação da evapotranspiração pelo balanço de água no solo é que o local e o número de sensores utilizados para controle da variação de armazenamento de água no solo é escolhida arbitrariamente. O objetivo deste trabalho foi determinar o balanço de água na zona radicular do meloeiro, variedade 'Redondo Gaúcho', e determinar o número e local de sensores a ser instalado na zona radicular da cultura. O trabalho foi realizado em campo e laboratório nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – IF BAIANO, *Campus* Senhor do Bonfim- BA. Implantou-se uma área de cultivo de melão no dia 03/05/2016, semeando-se o melão redondo gaúcho. Na área de cultivo, foram instalados 21 lisímetros de drenagem com volume de 1,12 m³, medindo 1,4 m de comprimento, 1m de largura e 0,8 m de profundidade. Quarenta sondas de TDR foram distribuídas no interior de um lisímetro em quatro perfis de monitoramento: P1, P2, P3, P4 para determinação das variações de armazenamento de água no solo. Verificou-se não haver diferenças na estimativa dos valores de evapotranspiração do meloeiro por meio do balanço hídrico ao se variar o número de perfis de monitoramento de umidade no solo. O balanço de água no solo pode ser calculado com uso de 4 sondas de TDR instaladas à 0,18m ou 0,36m da planta, distribuídas às profundidades 0,1m; 0,2m; 0,3m e 0,4m. O consumo hídrico médio diário e total do meloeiro durante todo seu ciclo foi de 2,03mm dia⁻¹ e 113 mm ciclo⁻¹. Os valores de kc representativos de cada fase de desenvolvimento do meloeiro foram: 0,30 na fase inicial, 0,60 na fase de crescimento vegetativo, 1,02 na floração e 0,77 na fase de crescimento dos frutos.

PALAVRAS CHAVE: posicionamento de sensores, TDR, manejo da irrigação.

EVAPOTRANSPIRATION OF MELON IRRIGATED IN DRAINAGE LYSIMETER

Author: Francisco Airdesson Lima do Nascimento.

Advisor: Prof. Dr. Alisson Jadavi Pereira da Silva.

ABSTRACT: One limitation in the determination of evapotranspiration through soil water balance is that the site and number of sensors used to control the variation of water storage in the soil are arbitrarily selected. This study aimed to determine the water balance in the root zone of melon, variety 'Redondo Gaúcho', and determine the number and position of sensors to be installed in its root zone. The experiment was carried out at the field and in the laboratory, at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Bahia - IFBAIANO, Campus of Senhor do Bonfim-BA. Melon was planted on May 3, 2016, using the variety 'Redondo Gaúcho'. In the cultivation area, 21 drainage lysimeters were installed, with volume of 1.12 m³, length of 1.4 m, width of 1 m and depth of 0.8 m. Forty TDR probes were distributed inside one lysimeter in four monitoring profiles: P1, P2, P3 and P4, to determine the variations in soil water storage. There were no differences in the estimate of melon evapotranspiration through water balance as the number of soil moisture monitoring profiles varied. Soil water balance can be calculated using 4 TDR probes installed at 0.18 m or 0.36 m away from the plant, distributed at depths of 0.1 m, 0.2 m, 0.3 m and 0.4 m. The mean daily and total water consumption of melon along its entire cycle were 2.03 mm day⁻¹ and 113 mm cycle⁻¹. The kc values representative of each melon development stage were: 0.30 in the initial stage, 0.60 in the vegetative growth stage, 1.02 in the flowering stage and 0.77 in the fruit growth stage.

KEY WORDS: sensor placement, TDR, irrigation management

INTRODUÇÃO

A demanda hídrica de uma cultura é um conhecimento predominante quando se trata do sucesso em cultivos irrigados e não irrigados. Essa demanda é expressa por um processo biofísico denominado evapotranspiração (ET). A ET pode ser decomposto em dois processos: transpiração (T) da cultura e evaporação (EV) do solo, tais processos são dependentes da demanda atmosférica (ALLEN et al., 1998). Diversas técnicas podem ser utilizadas para determinação da evapotranspiração da cultura do meloeiro e de outras curcubitáceas: evaporímetros (OLIVEIRA et al., 2010), razão de Bowen (BORGES et al., 2015), lisímetro de pesagem (PERES et al., 2013). Ainda é possível determinar a ETc por meio de lisímetros de drenagem, o mesmo se baseia no princípio de conservação de massa, sendo necessário o uso do balanço de água no solo (CARVALHO et al., 2008; MELO et al., 2013; SHUKLA et al., 2014).

E comum para determinação da evapotranspiração (ET) em lisímetro de drenagem e em balanço de água no solo o uso da equação 1.

$$ET=P+I-\Delta h-D \quad (1)$$

em que: P é a precipitação (mm), I é a irrigação (mm), Δh é a variação do armazenamento de água no solo (mm), D é a drenagem (mm). A depender do local de estudo outras variáveis devem ser consideradas, tais como o deflúvio superficial e subsuperficial de entrada e/ou saída, bem como a ascensão capilar.

Para solucionar a equação 1 se faz necessário o uso de sensores que possam estimar Δh , sendo estes de vários princípios. No rol de sensores atualmente disponíveis, destaca-se: o tensiômetro utilizado comumente para determinação do balanço hídrico do meloeiro (LIBARDI et al., 2015; MEDEIROS et al., 2005); a TDR, muito empregado para determinação do balanço hídrico em fruteiras tais como: bananeira, citros, macieiras e Kiwi (SILVA et al., 2015; SILVA et al., 2009; GREEN & CLOTHIER, 1999; GREEN & CLOTHIER, 1995); combinação de sonda de nêutrons e tensiômetro para determinar a variação de armazenamento de água em amendoeira, milho e trigo (PALOMO et al., 2002; WU et al., 1999; ANDREU et al., 1997).

Um problema ainda não resolvido na determinação da evapotranspiração da cultura pelo balanço hídrico é que o número e local de sensores a ser utilizado para controle da variação de água no solo é determinado arbitrariamente não levando em consideração a variação ocorrida entre os perfis de solo em que se monitora a umidade (HILLEL, 2004; MEDEIROS et al., 2005; MOTA et al., 2010). A existência deste problema é função da variabilidade espaço-temporal da extração de água na zona radicular das culturas (ALLEN et al., 2011). Trabalhos que definem a distribuição da extração bi e tridimensional de água (SILVA et al., 2009; COELHO et al., 2010; SILVA et al., 2012; SILVA et al., 2015) revelam a existência de alta variabilidade da extração de água no espaço do solo ocupado pelas raízes da bananeira. Diante disso, surge a hipótese de que existe diferença nos valores de evapotranspiração do meloeiro obtidos por meio do balanço de água no solo em função do número de perfis e de bateria de sensores de umidade instalados na região radicular.

Posto isso o objetivo deste trabalho foi calcular o balanço de água na zona radicular do meloeiro, variedade 'Redondo Gaúcho', e determinar o número de sensores e local a ser instalado na zona radicular da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em campo e laboratório nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – IF BAIANO, *Campus* Senhor do Bonfim- BA (latitude 10° 26' 44" S; longitude 40° 08' 55" W e altitude de 532 m). Implantou-se uma área de cultivo de melão no dia 03/05/2016, semeando-se o melão redondo gaúcho. Na área de cultivo, foram instalados 21 lisímetros de drenagem com volume de 1,12 m³, medindo 1,4 m de comprimento, 1m de largura e 0,8 m de profundidade. O solo utilizado para completar o preenchimento do lisímetro foi proveniente da área de plantio, e apresentava 22,3% de argila, 7,9% de silte e 69,8% de areia. Algumas características físico-hídricas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela1- Características físico-hídricas do solo da área experimental.

Prof	Retenção de água ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)						Ds (g cm^3)	Classificação textural do solo
	0,6 m	1 m	3,3 m	30 m	50 m	150 m		
-	-	-	-	-	-	-	-	-
0- 0,2 m	0,198	0,163	0,144	0,135	0,129	0,119	1,67	Areno- Argiloso
0,2-0,4m	0,215	0,184	0,162	0,147	0,135	0,128	1,71	Areno- Argiloso

Dados Meteorológicos foram obtidos em uma estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) a 100m da área onde foi instalado o experimento. De posse dos dados coletados, valores horários de evapotranspiração de referência (ET_o), para grama, foram computados utilizando a equação proposta pela FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998). Na Figura 1 é apresentado os valores mensais de precipitação e ET_o ocorridos durante o período de coleta de dados do experimento.

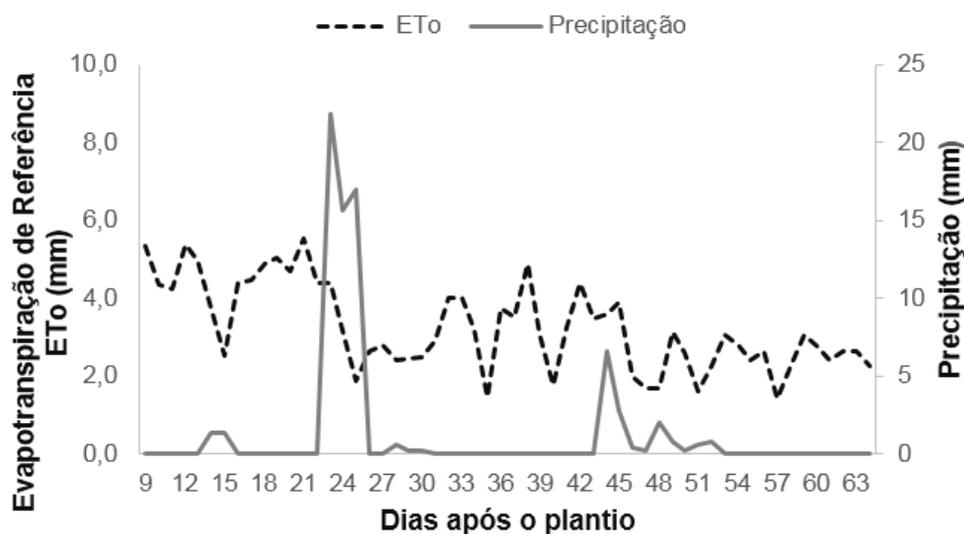


Figura1- Condições climatológicas durante o período de 10/05/2016 a 03/07/2016 para o experimento Senhor do Bonfim- Ba.

O método de irrigação utilizado foi o de microirrigação, sendo instalado um sistema de gotejamento, utilizando-se emissores da marca KATIF com vazão de $2,3 \text{ l h}^{-1}$, espaçados de 0,65 m entre emissores e 2,7 m entre linhas, perfazendo um gotejador por planta. Após configuração do sistema de

irrigação, foi feito o ensaio de distribuição e uniformidade de água, seguindo a metodologia proposta por Christiansen (1942), por meio da qual verificou-se um valor médio de uniformidade de distribuição de 95%.

Foi monitorada a umidade no interior de um lisímetro localizado no centro da área de plantio. A escolha do lisímetro no centro da área de plantio se deu para diminuir os efeitos de advecção que as plantas das bordas sofrem. Para o monitoramento da umidade, foram construídas em laboratório, sondas de TDR com as seguintes características: três hastes de aço inoxidável de 0,003m de diâmetro com comprimento efetivo de 0,1 m fora da resina e espaçadas entre si por 0,017 m; cabos coaxiais de 50 ohms; comprimento da camada de resina de poliéster no início das hastes de 0,05 m. A equação de calibração das sondas construídas foi obtida com base no ajuste da constante dielétrica aparente (K_a) obtidas por meio da TDR em relação ao conteúdo de umidade gravimétrica (θ), sendo a relação obtida entre ($K_a \times \theta$) expressa na equação 2.

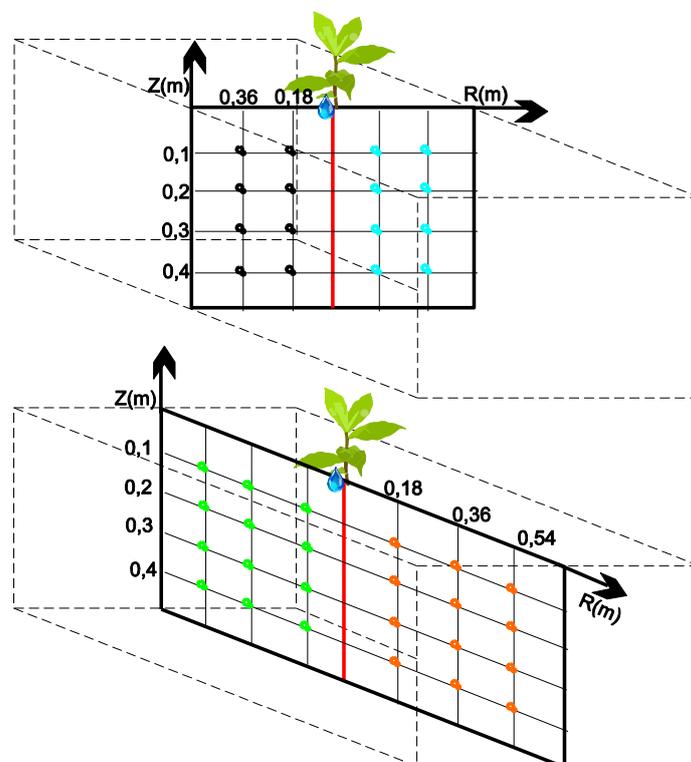
$$\theta = 6.10^{-5} ka^3 - 3,4.10^{-3} ka^2 + 7,63.10^{-2} ka - 0,4234 \quad R^2 = 0,989 \quad (1)$$

Em campo, os dados foram coletados com auxílio de uma TDR100, acoplada a um data logger CR 800. Procedeu-se a elaboração de um programa em linguagem *basic* para leitura e armazenamento dos valores de ka obtidos nas 40 sondas de TDR instaladas no interior do lisímetro. A coleta foi procedida diariamente, pela manhã, em dois tempos: (i) imediatamente antes da irrigação; e (ii) 30 min após a irrigação.

O manejo da irrigação foi feito com base nos resultados de umidade do solo obtidos com a TDR, verificando-se o volume de água necessário para retornar o solo à capacidade de campo. As irrigações foram feitas com o turno de rega de 2 dias.

Quarenta sondas de TDR foram distribuídas no interior do lisímetro em quatro perfis de monitoramento: P1, P2, P3, P4 conforme ilustrado na figura 2. Dentro de cada perfil, as diferentes posições de monitoramento foram: 0,18; 0,36; 0,54 m para os perfis 2 e 4, e 0,18 e 0,36 m nos perfis 1 e 3, sendo estes espaçamentos em relação a planta. Em cada perfil formaram-se 2 baterias de

monitoramento de umidade (R) com posicionamento às seguintes distâncias $R= 0,18$ m; $0,36$ e profundidades $Z=0,1$ m; $0,2$ m; $0,3$ m e $0,4$ m. Desta forma, procedeu-se ao cálculo de ET considerando as situações ilustradas na Figura 2 e exposta na Tabela 5.



Os pontos de cor preta representam as sondas de TDR instaladas no Perfil 1 (P1)
 Os pontos de cor azul representam as sondas de TDR instaladas no Perfil 2 (P2)
 Os pontos de cor laranja representam as sondas de TDR instaladas no Perfil 3 (P3)
 Os pontos de cor verde representam as sondas de TDR instaladas no Perfil 4
 O desenho da gota indica o posicionamento do gotejador

Figura 2 - Distribuição das sondas de TDR no interior do lisímetro.

Tabela 2 - Descrição das condições do cálculo de ET em função número de perfis (Pi) e de baterias (Bi) de monitoramento de umidade.

Nº de perfis considerados (Pi)	Sigla
1 (P1)	1P
2(P1+P2)	2P
3(P1+P2+P3)	3P
4(P1+P2+P3+P4)	4P
Nº de baterias consideradas (Bi)	Sigla
1 (R= 0,18 m)	1B
2 (R= 0,18m + 0,36 m)	2B

As diferentes fases fenológicas da cultura foram determinadas tomando-se como base a metodologia proposta por Allen et al. (1998): I) estágio inicial - do plantio até 10% de cobertura do solo (10/05/2016 a 23/05/2016); II) estágio vegetativo– 10% de cobertura até a cobertura total (23/05/2016 a 01/06/2016); III) estágio floração crescimento do fruto – do surgimento da primeira inflorescência até o surgimento do primeiro fruto (01/06/2016 a 14/06/2016) ;IV) maturação– da formação final até a maturação dos frutos (14/06/2016 a 04/07/2016).

A caracterização biométrica do meloeiro no início das diferentes fases de desenvolvimento encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3- Caracterização biométrica do meloeiro em diferentes fases, durante o período experimental.

Fase da Planta	Comprimento do ramo Principal	Número de Folhas	Número de Flores	Número de Frutos
Inicial	0,4	13	-	-
Crescimento vegetativo	1	35	-	-
Floração e crescimento do fruto	1,3	75	7	-
Maturação	1,34	75	2	4

Balanço Hídrico

O balanço de água no solo foi realizado utilizando-se da equação 3 desprezando-se a existência de deflúvios e ascensão capilar.

$$ET=P+I-\Delta h-D \quad (3)$$

em que: P é a precipitação (mm), I é a irrigação (mm), Δh é a variação do armazenamento de água no solo (mm), D é a drenagem (mm). A depender do local de estudo outras variáveis devem ser consideradas, tais como o deflúvio superficial e subsuperficial de entrada e/ou saída, bem como a ascensão capilar.

A precipitação (P) foi medida através de um pluviômetro instalado na estação meteorológica do INMET e os volumes das irrigações (I) foram registrados, conforme a lâmina de irrigação aplicada. As lâminas de irrigação foram determinadas com base nos valores de umidade lidos pela TDR em cada camada de monitoramento, a fim de manter o solo sempre próximo à capacidade de campo. O armazenamento de água no solo (h) foi calculado para cada bateria (Bi) de monitoramento até profundidade total Z do volume de solo do lisímetro (0,4m) utilizando a equação 4.

$$h(R) = \int_0^Z \theta(Z_i) dz \quad (4)$$

em que: $\theta(Z_i)$ é a função representativa do perfil de umidade e dz a diferencial da variável independente z . Z é a profundidade total da bateria Bi. Para resolução da integral numérica utilizou-se da regra do Trapézio.

Assim, obtendo-se o valor de h em cada distância radial (R_n) de monitoramento de umidade para o intervalo de tempo das irrigações θt , calculou-se a variação de armazenamento (Δh) conforme o número de baterias desejadas através da equação 5:

$$\Delta h_{R_n} = \frac{\sum_{R=i}^n \int_0^Z \theta(z_i)_{t_2} dz}{n} - \frac{\sum_{R=i}^n \int_0^Z \theta(z_i)_{t_1} dz}{n} \quad (5)$$

em que: Δh é o valor da variação de armazenamento de água do solo em cada posição de monitoramento (R_i, Z_i) – mm; θ_{t_1} é o valor de umidade antes do início da irrigação em um ponto de monitoramento - $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$; θ_{t_2} é o valor de umidade antes da irrigação subsequente em um ponto de monitoramento - $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$; R e Z são os limites de distância e profundidade estabelecidos em cada condição de cálculo;

A avaliação das estimativas dos valores de ET do meloeiro foi baseada no ajuste de uma regressão linear simples entre os valores estimados com os quatro perfis e as demais condições: 3 perfis, 2 perfis e 1 perfil. A comparação dos valores de ET foi feita conforme recomendação de Tedeshi (2006), ajustando-se um modelo de regressão linear simples com os valores de ET

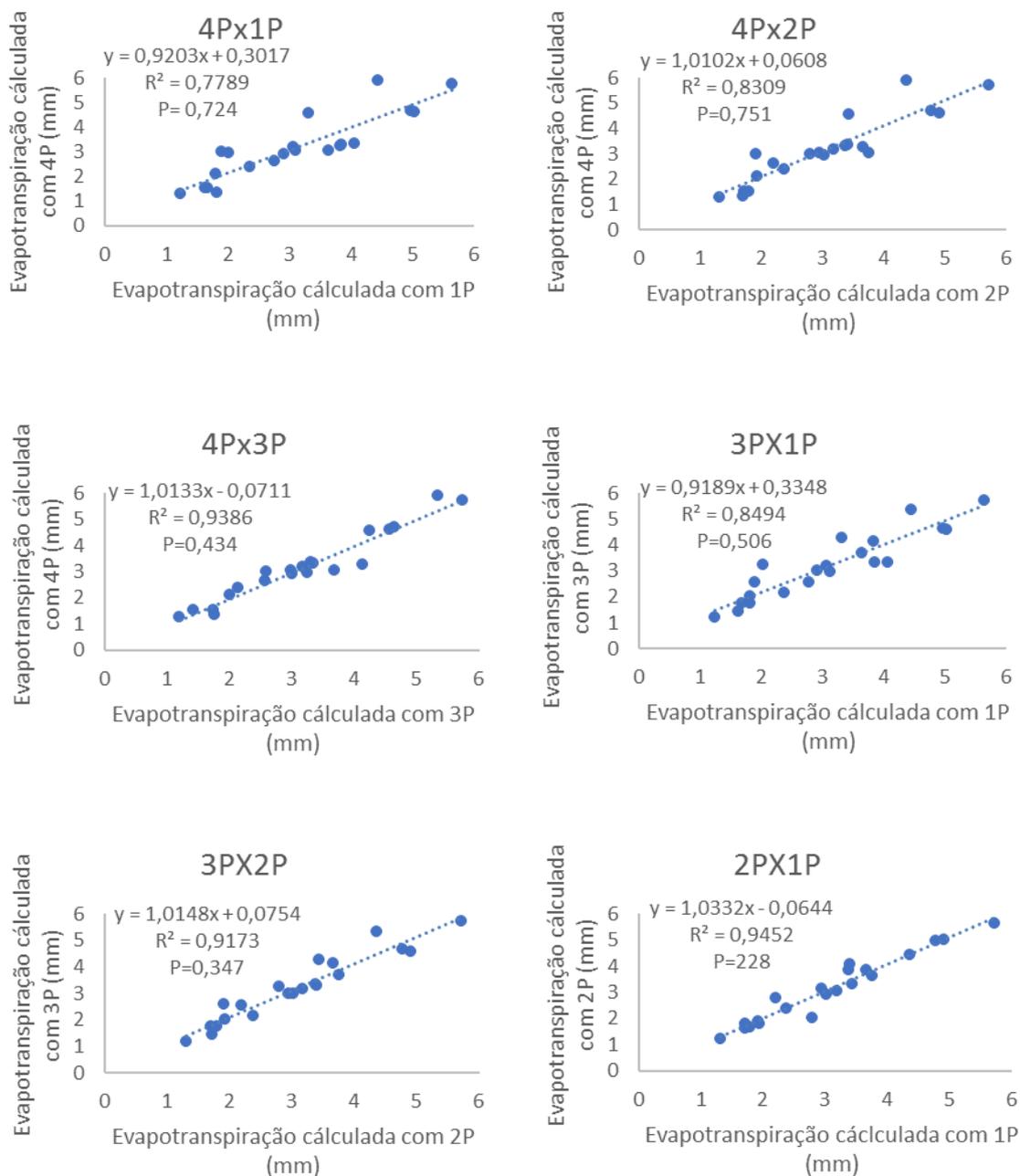
obtidos nos quatro perfis no eixo y sobre as demais condições no eixo x, por equações do tipo: $y = ax + b$ sujeito à hipótese de nulidade conjunta dos parâmetros estimados a e b: $H_0: a = 1$ e $H_0: b = 0$, comprovando-se ou rejeitando-se tais hipóteses por meio do teste F sugerido por (Mayer et al., 1994), com um grau de confiança de 95%. Considerou-se a raiz quadrada do erro médio (RMSE) como avaliação complementar das comparações dos valores de ET.

$$RMSE = \sqrt{\left[N^{-1} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right]} \quad (6)$$

em que: P_i são os valores de ETc calculados como padrão 4 perfis (mm); O_i e a evapotranspiração calculada com 3,2 e 1 perfil de monitoramento (mm)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As regressões provenientes das relações de valores de ETc estimados com diferentes números de perfis de monitoramento de umidade do solo são expressos na Figura 3. As maiores correlações foram observadas quando se comparou os valores de ETc por meio da condição (2P) em relação a (1P) e (4P) em relação a (3P) sendo seus respectivos valores para o coeficiente de correlação (R^2) igual a 0,945 e 0,934. A comparação onde se observou maior dispersão foi quando se comparou a condição 4P em relação a 1P, mostrando um R^2 igual a 0,779. Para todas as comparações foi observado uma boa correlação indicando pouca diferença para evapotranspiração de referência do meloeiro usando as condições de cálculo as condições 4P, 3P, 2P e 1P. Observa-se pelo teste de nulidade conjunta $P > 0,05$, não havendo diferença significativa entre os valores de ETc mostrados na Figura 3 com valores de P variando de 0,228 a 0,751.



- 1P-** considera somente as sondas do perfil 1 de monitoramento de umidade do solo;
2P- considera as sondas dos perfis 1 e 2 de monitoramento de umidade do solo;
3P- considera as sondas dos perfis 1, 2 e 3 de monitoramento da umidade do solo;
4P - considera as sondas dos 4 perfis de monitoramento de umidade.
P- é o valor para o teste de nulidade conjunta

Figura3- Relação entre os valores de evapotranspiração do meloeiro estimados através do balanço de água no solo com variações no cálculo do armazenamento de água mediante a obtenção de dados de umidade em um, dois, três e quatro perfis de monitoramento durante o período experimental.

O teste de hipótese de nulidade conjunta para os valores de intercepto e de inclinação da reta de regressão apontou a não rejeição da hipótese de nulidade ($P > 0,05$) para todas as condições de cálculo do balanço hídrico (Tabela 4). Logo, os valores de ETc para o meloeiro estimados pelo balanço hídrico não apresentam diferença quanto a variação do número de perfis de monitoramento de umidade na zona radicular do meloeiro. Os menores valores de raiz quadrada do erro médio (RMSE) foi observado nas regressões em que se comparou as condições 2PX1P e 4PX3P, apresentando os respectivos valores 1,351 e 1,322. O maior valor de RMSE foi encontrado para regressão onde se comparou 4PX1P mostrando um valor de 2,83, isso mostra que embora não tenha ocorrido diferenças pelo teste de nulidade conjunta essa comparação apresenta o maior erro entre os valores de ETc obtidos considerando 4 perfis e 1 perfil.

Tabela 4- Estatística para regressão entre os valores de evapotranspiração do meloeiro estimados por balanço hídrico no solo utilizando 1, 2, 3 e 4 perfis (P1, P2, P3 e P4) de monitoramento de umidade.

Item ($y = ax + b$)	P4xP1	P4XP2	P4XP3	P3xP1	P3xP2	P2xP1
Intercepto (a)	0,92	1,01	1,013	0,919	1,014	1,013
Inclinação (b)	0,302	0,061	0,071	0,335	0,075	0,064
Valor P ($H_0: a=0$ e $b=1$)	0,724	0,751	0,434	0,506	0,347	0,228
RMSE	2,830	2,470	1,322	1,848	2,350	1,351

Valor P- valor utilizado para o teste de nulidade conjunta; RMSE- raiz quadrada do erro médio.

Sabendo da diferença de extração de água do meloeiro em relação à disponibilidade de água condicionada pelo número de emissores, a aceitação desta hipótese se limita as condições de 1 emissor por planta sem cobertura no solo, sendo necessária a verificação para outras configurações de irrigação e cultivo. Utilizando a mesma técnica empregada neste estudo, nas condições climáticas de Cruz das Almas-BA, Silva et al. (2015) observaram que os valores de ETc da bananeira estimados não diferem entre si em função da variação no cálculo do armazenamento de água no solo com dados de umidade coletados em diferentes números de perfis de monitoramento de umidade na região radicular da bananeira sob as condições de irrigação com microaspersão, sendo este comportamento similar ao encontrado nesse

experimento. Os autores indicaram que 1 perfil de monitoramento de umidade é satisfatório para estimação da ET_c com base no balanço hídrico.

Os valores de coeficiente de cultivo do meloeiro (K_c) obtidos com 4 perfis de monitoramento durante o ciclo de cultivo são apresentados na Figura (4). A distribuição dos valores de K_c apresentaram uma tendência polinomial positiva de segunda ordem com 78% das variações de ET_c/ET_o explicadas pelo desenvolvimento da planta e as mudanças climáticas diárias ocorridas ao longo do tempo. As médias dos valores de K_c obtidos pelo conjunto de dados medidos para cada fase de desenvolvimento foram: 0,307 (+- 0,05) para fase inicial, 0,595 (+-0,195) para fase de crescimento vegetativo, 1,016 (+- 0,105) na fase de floração e 0,766 (+- 0,023) na fase de maturação. Libardi *et al.* (2015), em estudo com o melão do tipo amarelo variedade AF- 646 nas condições da chapada do Apodi no município de Baraúna-RN estimaram o coeficiente 0,33 para fase de desenvolvimento vegetativo, 1,07 para fase de floração e 0,63 para maturação dos frutos. Já Oliveira *et al.* (2010), em experimentação realizada com o melão amarelo ouro nas condições climáticas de Juazeiro-BA utilizou um evaporímetro de lençol freático encontrou o valor de coeficiente de cultivo de 0,84 para fase de floração, estando esse abaixo do valor encontrado para este estudo na mesma fase de desenvolvimento da cultura. Allen *et al.*, (1998) recomendam valores de k_c, dividindo-os em três fases para o meloeiro, quais sejam: k_{cini}=0,5, k_{cmed}=1,05 e k_{c final}=0,75.

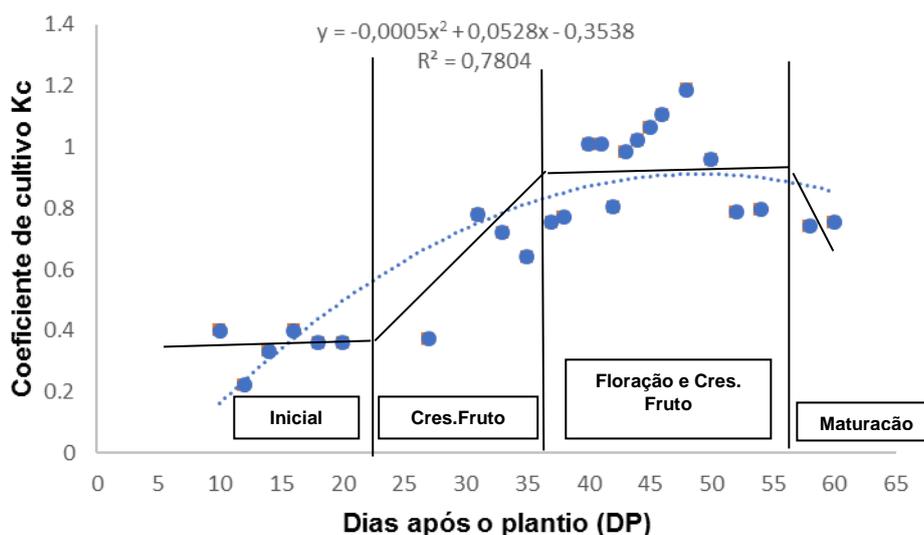


Figura 4- Valores de coeficiente de cultivo (kc) do meloeiro redondo gaúcho irrigado, nas condições semiáridas de Senhor do Bonfim-BA.

Os valores de ET_c foram calculados a partir dos valores médios de cada fase do coeficiente de cultura obtidos durante o ciclo do meloeiro e dos dados diários de E_{to} . Os valores resultantes deste cálculo encontram-se distribuídos na Figura 5. Verificou-se que o consumo médio diário do meloeiro correspondente a fase inicial, crescimento vegetativo, floração e crescimento do fruto e maturação no lisímetro foi de $1,37 \text{ mm planta}^{-1}$ ($\pm 0,23 \text{ mm}$), $1,61 \text{ mm planta}^{-1}$ ($\pm 0,35 \text{ mm}$), $3,11 \text{ mm planta}^{-1}$ ($\pm 1,11 \text{ mm}$) e $1,89 \text{ mm planta}^{-1}$ ($\pm 0,38 \text{ mm}$) respectivamente. O requerimento hídrico do meloeiro redondo gaúcho foi de 113 mm com média diária para o ciclo de $2,03 \text{ mm}$ ($\pm 0,92 \text{ mm}$). O consumo hídrico encontrado está abaixo do observado por (LIBARDI et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2010), fato este atribuído ao sistema as condições climáticas da região e da variedade do meloeiro escolhida.

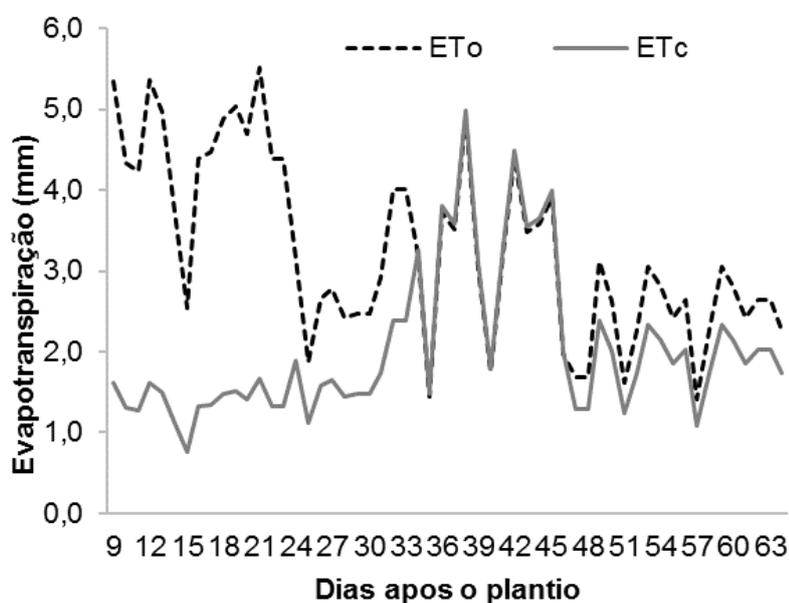


Figura 5- Valores de Evapotranspiração de Referência (E_{to}) e Evapotranspiração da cultura do meloeiro durante o ciclo de cultivo, Senhor do Bonfim-Ba.

Análise da variação dos valores de ET_c pelo balanço de água no solo com dados de umidade obtidos em diferentes números de baterias de sondas de TDR em um perfil

Optou-se por comparar somente 1B (sondas que estão instaladas a 0,18m da planta para monitoramento de umidade) e 2B (sondas que estão instaladas a 0,18 e 0,36m da planta para monitoramento de umidade), pelo fato da maior atividade do sistema radicular do meloeiro ocorrer no máximo até 0,36 m de distância do caule da planta em todos os estádios da cultura conforme o descrito na Tabela 5.

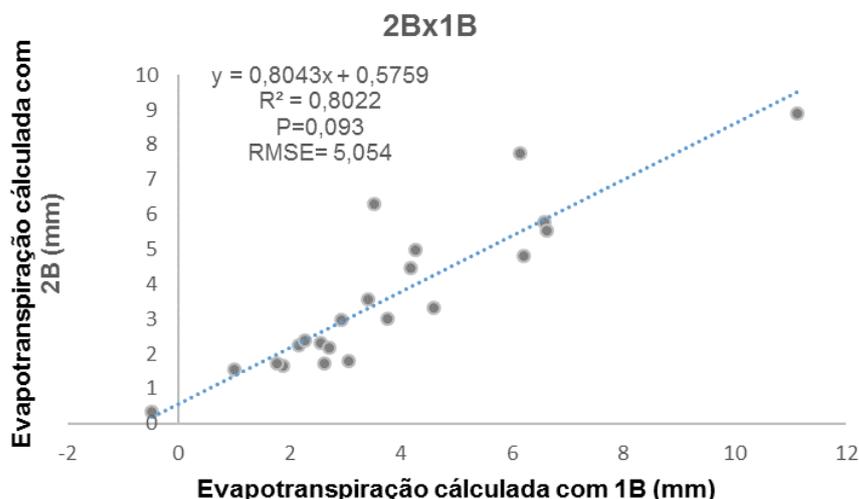
Tabela 5- Limites de distância da atividade efetiva de extração de água pelo meloeiro em diferentes fases de desenvolvimento.

Fase de desenvolvimento vegetativo	Distância máxima do meloeiro (m)	\bar{X} (%) ($\pm S$)	
Inicial	0,36	80,98	2,95
Crescimento vegetativo	0,36	76,24	21,14
Floração e Crescimento do fruto	0,36	78,94	21,40
Maturação	0,36	77,05	26,45

\bar{X} - representa a média; ($\pm S$)- representa o desvio padrão

Na Figura 7 encontra-se a correlação entre os valores de ETc calculados com 4 sondas (1 bateria) e 8 sondas (2 baterias) de TDR no perfil, bem como o teste de nulidade conjunta apresentando um valor de P= 0.093. Com um grau de 95% de confiança foi aceita a hipótese de que não existe diferença entre os valores de ETc calculados com dados de umidade obtidos em 1 e 2 baterias de sondas de TDR, ou seja, para representar o que de fato ocorre na região explorada pelas raízes do meloeiro, as depleções de água no solo devem ser monitoradas com um número mínimo de 4 sondas de TDR instaladas a 0,18m ou 0,36m de distância da planta, nas profundidades 0,1m, 0,2m, 0,3m e 0,4m. Embora não tenha ocorrido diferença significativa pelo teste de nulidade conjunta e possível observar houve dispersão, apresentando um quadrado do

erro médio igual a 5,054 mostrando que existe erro entre os valores de evapotranspiração obtidos com a condição 2B em relação a condição 1B.



1B- considera somente as sondas que estão instaladas a 0,18m da planta para monitoramento de umidade.

2B- considera somente as sondas que estão instaladas a 0,18 e 0,36m da planta para monitoramento de umidade.

P- Valor para o teste de nulidade conjunta.

RMSE- Raiz quadrada do erro médio.

Figura 7. Relação entre os valores de Evapotranspiração do meloeiro estimado pelo balanço hídrico no solo variando o número de baterias com quatro sondas TDR em um perfil. 1B – uma bateria, 2B.

A ocorrência da não diferença entre os valores de ET_c é devido a atividade de extração de água próximo a planta sendo que na distância da 0,18 m a atividade de extração de água é de 54,93% para fase inicial, 46,62% para fase vegetativa, 60,72% para floração e crescimento do fruto e 46,02% para fase de maturação. Embora não tenha ocorrido diferença, assumir que variações de umidade do solo no sistema radicular do meloeiro pode ser atribuída em poucos pontos de monitoramento é arriscado levando em consideração que 80% ou mais da extração de água ocorreu até 0,36 m da planta. Silva et al. (2015) observou que onde ocorre maior extração acontece maior variação de armazenamento não sendo recomendado o uso de sensores somente onde ocorre a maior extração de água pela planta. Ainda Domec et al. (2012) afirma que há mais segurança da acurácia dos resultados, monitorar a umidade em vários pontos nas regiões exploradas pelas raízes.

Encontra-se na literatura estudos que consideram uma ou duas baterias de monitoramento de umidade do solo por planta (SILVA et al., 2009; SOUZA et al., 2013; MONTENEGRO et al., 2008). Para o meloeiro, encontra-se pesquisas que levam em consideração somente uma bateria de monitoramento cultura (LIBARDI, et al 2015; MEDEIROS, et al 2005), sendo que outros não levam em consideração a variação de umidade próxima ao sistema radicular pelo fato de usar outra técnica para determinação da evapotranspiração da cultura tais como Razão de Bowen, evaporímetros e lisímetros de pesagem (BORGES et al., 2015; PERES et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2010)

CONCLUSÃO

Não ocorrem diferenças na estimativa dos valores de evapotranspiração do meloeiro pelo balanço hídrico ao se variar o número e local de instalação dos sensores de monitoramento do conteúdo de água no solo;

Recomenda-se, no mínimo uma bateria de sondas de TDR com 0,4m de profundidade, com a distância 0,18m para monitorar as depleções de água em um perfil no solo para estimativa da evapotranspiração do meloeiro através do balanço hídrico;

O consumo médio e total de água do meloeiro para o ciclo de cultivo em Senhor do Bonfim é $2,03\text{mm dia}^{-1}$ e 113 mm ciclo^{-1} . Os valores de kc representativos de cada fase de desenvolvimento do meloeiro foram: 0,302 na fase inicial, 0,595 na fase de crescimento vegetativo, 1,02 na floração e 0,767 na fase de crescimento dos frutos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 6, p. 899-920, 2011.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. In: United Nations FAO, Irrigation and Drainage Paper 56. **FAO, Rome**, Italy, 1998.

ANDREU, L.; HOPMANS, J.W.; SCHWANKL, L.J. Spatial and temporal distribution of soil water balance for a drip-irrigated almond tree. **Agricultural Water Management**, v. 35, n. 1, p. 123-146, 1997.

BORGES, V. P.; SILVA, B.B.; ESPINDOLA SOBRINHO, J.; FERREIRA, R. da C.; OLIVEIRA, A. D.; MEDEIROS, J.F. Energy balance and evapotranspiration of melon grown with plastic mulch in the Brazilian semiarid region. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 5, p. 385-392, 2015.

COELHO, E.F.; SILVA, A.J.P.; MIRANDA, J.H. Definição do posicionamento de sensores para monitoramento da água no solo em bananeira irrigada por diferentes sistemas de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 4, p. 608-618, 2010.

DE CARVALHO, L.C.C; BEZERRA, F.M.L; DE CARVALHO, M.A.R. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da melancia sem sementes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 1, p. 53-59, 2008.

DOMEC, J.C.; SUN, G.; NOORMETS, A.; GAVAZZI, M.J.; TREASURE, E.C.; SWENSON, J.J.; MECNULTY, S.G.; KING, J.S. A Comparison of Three Methods to Estimate Evapotranspiration in Two Contrasting Loblolly Pine Plantations: Age- Related Changes in Water Use and Drought Sensitivity of Evapotranspiration Components. **Forest Science**. vol. 58, n.5, p.497-512, 2012.

FAO. 2012. Trade. Disponível em: <<http://www.faostat.fao.org>> Acesso em: 15 outubro . 2015.

GREEN, S.R.; CLOTHIER, B.E.. The root zone dynamics of water uptake by a mature apple tree. **Plant and Soil**, v. 206, n. 1, p. 61-77, 1999.

GREEN, S.R.; CLOTHIER, B.E. Root water uptake by kiwifruit vines following partial wetting of the root zone. **Plant and soil**, v. 173, n. 2, p. 317-328, 1995.

HILLEL, D. **Introduction to Environmental Soil Physics**. Elsevier, academic Press. 294p, 2003.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. Produção Agrícola Municipal. Disponível em <www.sidra.ibge.gov.br> Acesso em 17outubro. 2015.

LIBARDI, P. L.; MOTA, J.C.A.; ASSIS JUNIOR, R.N.; BRITO, A. S.; AMARO FILHO, J. Water balance components in covered and uncovered soil growing irrigated muskmelon. **R. Bras. Ci. Solo**, v.39, n.1, p.1322-1334, 2015.

MEDEIROS, F.A.S.B. de; DE MEDEIROS, J.F.; SILVA, M.C. DE C.; ALVES, L.P.; DE SOUSA, T.H.; LEVIEN, S.L.A. Necessidade hídrica do meloeiro irrigado com água de diferentes salinidades e cultivado com ou sem cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 234-238, 2005.

MELO, T.K. DE.; MEDEIROS, J.F. DE.; SOBRINHO, J.E.; FIGUEIREDO, V.B.; PAULO S. DE SOUZA, P. S. DE. . Evapotranspiration and crop coefficients of melon plants measured by lysimeter and estimated according to FAO 56 methodology. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 5, p. 929-939, 2013.

MONTENEGRO, A. A. T.; GOMES, A. R. M.; MIRANDA, F. R.; CRISÓSTOMO, L. A. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da bananeira para a região litorânea do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**. v. 39, n. 2, 2008.

MOTA, J.C.A. **Componentes do balanço de água em um Cambissolo cultivado com meloeiro irrigado por gotejamento, com e sem cobertura da superfície**. 2010. 122 p. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

OLIVEIRA, G.M.; LEITÃO, M.M.V.B.R.; A.A.C. Determinação da evapotranspiração e dos coeficientes de cultura para as diferentes fases de desenvolvimento do melão (*Cucumis melo* L.) na região norte da Bahia. **Revista Verde**, v.5, n.2, p.142-151, 2010.

PALOMO, M.J; MORENO, F.; FERNANDEZ, J.E.; DIAZ-ESPEJO, A.; GIRON, I.F. Determining water consumption in olive orchards using the water balance approach. **Agricultural Water Management**, v. 55, n. 1, p. 15-35, 2002.

PERES, J. G.; MARCUSI, I.; SOUZA, C.F.; BRUGNARO, C. UTILIZAÇÃO DE LISÍMETROS DE PESAGEM PARA DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE CULTURA DO MELOEIRO (*Cucumis melo* L.) PARA CULTIVO EM ESTUFA AGRÍCOLA NA REGIÃO DE ARARAS-SP. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 3, 2016.

SHUKLA, S.; SHRESTHA, N.K.; JABER, F.H.; SRIVASTAVA, S.; OBREZA, T.A.; BOMAN, B.J. Evapotranspiration and crop coefficient for watermelon

grown under plastic mulched conditions in sub-tropical florida. **Agricultural Water Management**, v. 132, p. 1-9, 2014.

SILVA, A. J. P. da; COELHO, E. F.; MIRANDA, J. H. de and WORKMAN, S. R. Estimating water application efficiency for drip irrigation emitter patterns on banana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. vol.44, n.7. p. 730-737, 2009.

SILVA, A.J.P.; COELHO, E.F.; COELHO FILHO, M.A. Water extraction in banana root zone affects the reliability of water balance. **Scientia Agricola**, v.72, n.1, p. 1-10, 2015.

SOUZA, C.; ANDRADE, A. P.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C.D.; SOUZA, E. S.; SILVA, I. F. Balanço hídrico da cultura da mamona sob condições de sequeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, n.1, p. 3-10, 2013.

WU, J.; ZHANG, R.; GUI, S. Modeling soil water movement with water uptake by roots. **Plant and soil**, v. 215, n. 1, p. 7-17, 1999.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para monitoramento da umidade do solo observou que a maior atividade do sistema radicular se encontra até 0,3m de profundidade e no máximo até 0,36 m de distância da planta, indicando no mínimo quatro sensores em um perfil de monitoramento.

Tendo visto que o uso da TDR pode proporcionar valores precisos e acurados dos componentes do balanço hídrico tais como: variação de armazenamento de água no solo, extração de água pelo sistema radicular das culturas e evapotranspiração. São necessários mais estudos indicando critérios e limitações para o uso desta técnica em outras culturas em condições de climas diferentes, número de emissores distintos e outros métodos de irrigação.