

VARIAÇÕES NO NÚMERO E POSICIONAMENTO DE SENSORES AFETAM A CONFIABILIDADE DO BALANÇO DE ÁGUA NA ZONA RADICULAR DO MELOEIRO

Francisco Airdesson Lima do Nascimento¹, Alisson Jadavi Pereira da Silva², Ubirani Oliveira dos Santos³, Fabio Tayrone Oliveira de Freitas⁴, Lucio Aderito Veimrober Junior⁵,
Jilcelio Nunes de Almeida⁶

RESUMO: O trabalho tem como objetivo indicar o efeito do número e posições de sensores de umidade instalados na zona radicular do meloeiro para fins de realização do balanço de água no solo, visando à estimativa da evapotranspiração (ET_c). Realizou-se um experimento na região semiárida, latitude 10° 26' 44" S, longitude 40° 08' 55" W e altitude de 532 m. O experimento foi realizado dentro de uma área de cultivo de melão da variedade “redondo gaúcho” irrigado por gotejamento. No centro da área de cultivo instalou-se um lisímetro de drenagem, no qual sondas de Time Domain Refelctometry (TDR) foram distribuídas sistematicamente na zona radicular do meloeiro em diferentes números e posições para fins de irrigação e determinação do balanço de água no solo. Realizou-se estimativas da ET_c, variando-se o número e a posição dos sensores utilizados na coleta de dados de umidade do solo em 38 eventos de irrigação. Verificou-se haver diferença na estimativa da ET_c pelo método do balanço de água no solo ao se variar o número e a posição de sondas instaladas na zona radicular do meloeiro. Diante disso, recomenda-se que a determinação do balanço de água no solo do meloeiro irrigado por gotejamento seja realizada utilizando no mínimo 4 sondas instaladas a: 0,10; 0,20; 0,30 e 0,40 m de profundidade, distanciadas em até 0,40 m da planta.

PALAVRAS-CHAVE: posicionamento de sensores, sensoriamento de água no solo, *Cucumis Melo L.*

¹ Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. E-mail: airdessonpai@hotmail.com

² Doutor em Ciências Agrárias, Professor IFBA Campus Governador Mangabeira. E-mail: alissonagr@gmail.com

³ Graduando do curso de Agronomia, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. E-mail: ubiraniufrb@gmail.com

⁴ Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. E-mail: oibaf.freitas@hotmail.com

⁵ Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. E-mail: agrolucio10@gmail.com

⁶ Mestrando em Produção Vegetal no Semiárido, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano. E-mail: jjiocelioalmeida@gmail.com

VARIATIONS IN THE NUMBER AND POSITIONING OF SENSORS AFFECT THE RELIABILITY OF WATER BALANCE IN THE MELOEIRO ROOT ZONE

ABSTRACT: The objective of this work is to indicate the effect of the number and positions of moisture sensors installed in the root zone of the melon for purposes of water balance in the soil, aiming at the estimation of evapotranspiration (ET_c). Experiment was carried out in the semi-arid region, latitude 10° 26 '44' 'S, longitude 40 ° 08' 55 " W and altitude of 532 m. The experiment was carried out within a drip irrigated water melon. In the center of the cultivation area was installed a drainage lysimeter, in which Time Domain Reflectometry (TDR) probes were systematically distributed in the melon root zone at different numbers and positions for irrigation purposes and determination of soil water balance. Estimates of ET_c were made by varying the number and position of the sensors used to collect soil moisture data in 19 irrigation events. It was verified that there is difference in the ET_c estimation by soil water balance method when the number and position of probes installed in the root zone of the melon are varied. Therefore, it is recommended that the determination of the water balance in the soil of the drip irrigated melon be performed using at least 4 probes installed at: 0,10; 0,20; 0,30 and 0,40 m deep, spaced up to 0,40 m from the plant.

KEYWORDS: positioning of sensors, soil water sensing, *Cucumis Melo L.*

INTRODUÇÃO

O correto manejo da irrigação depende do uso de técnicas que permitem estimar a demanda hídrica de uma cultura. Essa demanda é expressa por um processo biofísico denominado evapotranspiração (ET). Diversas técnicas podem ser utilizadas para determinação da evapotranspiração da cultura do meloeiro e de outras cucurbitáceas: evaporímetros, razão de Bowen (Borges et al., 2015), lisímetro de pesagem (Peres et al., 2016). Ainda é possível determinar a ET de uma cultura baseando-se no princípio de conservação de massa, tal como ocorre no uso do balanço de água no solo (Shukla et al., 2014).

O balanço de água no solo se baseia nas variações de entrada de água no sistema solo-planta-atmosfera, bem com suas saídas, podendo ser expressa algebricamente considerando as entradas de água por irrigação e precipitação, bem com as saídas por percolação e ou variação de armazenamento. 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 determinação de alguns componentes do balanço de água no solo é comum o uso de sensores, por exemplo: reflectometria no domínio da frequência - FDR, tensiômetros e sondas de reflectometria no domínio do tempo - TDR.

A disponibilidade de sensores de umidade do solo tem aumentado e o custo diminuído (Ramadan et al., 2018). Entretanto, ainda não foi bem resolvido o problema da determinação do número e local ótimo de instalação dos sensores, visando a estimativa do balanço de água no solo e manejo de irrigação.

Soulis e Elmaloglou (2016) revelaram que existe uma considerável variabilidade nos valores de umidade obtidos nos sensores em função do número e distância de instalação no solo para o monitoramento da umidade em cultivos agrícolas.

Silva et al., (2018) observaram a variabilidade espaço temporal de extração de água na zona radicular da bananeira irrigada por microaspersão, e indicaram o ideal posicionamento de sensores com base no ponto de monitoramento que represente menores erros em relação a extração ao longo de um perfil tri-dimensional de monitoramento do conteúdo de água no solo. Seguindo a mesma linha de observação Soulis e Elmaloglou (2018), determinaram o posicionamento de sondas de umidade no solo, por meio da variação em relação a media em um ensaio simulado. Por exemplo, no caso da determinação do balanço de água no solo em cultivo do meloeiro, Mota et al., (2018) utilizaram quatro sensores instalados a 0,10 metro do caule da planta nas profundidades de 0,10 a 0,40 m de profundidade.

Nesse contexto, o trabalho tem como objetivo indicar o efeito da variação no número e posições de sensores de umidade instalados na zona radicular do meloeiro para fins de realização do balanço de água no solo, visando maior confiabilidade na estimativa da evapotranspiração do cultivo (ETc).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado 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”. No centro da área de cultivo instalou-se um lisímetro de drenagem. O lisímetro utilizado tinha contava com uma área de 1.4 m² com 1 metro de profundidade. O fundo do lisímetro foi composto por um sistema de tubulação perfurado de 32 mm 0,15 m de brita tamanho zero e 0,15 m de areia lavada.

O solo utilizado para 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. Concomitantemente ao preenchimento do lisímetro com solo, foram instaladas oito sondas de TDR, as quais foram distribuídas sistematicamente em duas distâncias em relação ao centro do lisímetro (R): R= 0,18 m; R= 0,36 m e profundidades Z= 0,1 m; Z = 0,2 m; Z = 0,3 m e Z = 0,4 m.

As sondas de TDR utilizadas no interior do lisímetro, foram construídas seguindo 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 calibradas seguindo as diretrizes propostas por Silva et al. (2015). A calibração da TDR é expressa pela equação 1.

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

No manejo da irrigação, dados de umidade do solo foram coletados diariamente, pela manhã, imediatamente antes da irrigação. As lâminas de irrigação foram calculadas com base no volume de água necessário para retornar o solo a capacidade de campo (0,16 cm³ cm⁻³).

As irrigações foram realizadas diariamente por meio de um sistema de microirrigação do tipo gotejamento, com emissores autocompensados de vazão igual a 2,3 L h⁻¹, espaçados de 0,65 m entre emissores e 2,7 m entre linhas, perfazendo um gotejador por planta.

Determinação do balanço de água no solo com variação no número e posições dos sensores

Realizou-se estimativas da ET_c por meio do balanço de água no solo com base na equação 2, variando-se o número e a posição de sensores (NP) utilizados na coleta de dados de umidade do solo em 19 eventos de irrigação.

Os “NP” utilizados no cálculo do balanço de água no solo foram: NP1- quatro sondas instaladas a R = 0,18m e quatro sondas instaladas a R = 0,36 m (total de 8 sondas); NP2- quatro sondas instaladas a R = 0,18m; NP3- três sondas instaladas em R= 0,18 m nas profundidades Z = 0,10 m, Z = 0,2 m, Z = 0,3 m; NP4- duas sondas instaladas a R = 0,18m nas profundidades Z = 0,10 e 0,20 m; e NP5- uma única sonda instaladas a R= 0,18m na profundidade Z = 0,10 m. Totalizando cinco condições de contorno de cálculo do balanço de água no solo.

Para cada condição de contorno avaliada, o balanço de água no solo foi realizado conforme a equação 2 desprezando-se a existência de deflúvios e ascensão capilar.

$$ET_c=P+I-\Delta h-D \quad (2)$$

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 precipitação (P) foi medida através de um pluviômetro instalado na estação meteorológica do INMET, os volumes das irrigações (I) foram registrados conforme a lâmina de irrigação aplicada e a drenagem foi medida por meio do dreno do lisímetro. O armazenamento de água no solo (h) foi calculado para cada NP utilizando a equação 3:

$$h(R) = \int_0^Z \theta(Z_i) dz \quad (3)$$

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 de monitoramento de umidade. Para resolução da integral numérica utilizou-se da regra do Trapézio.

Assim, de posse dos valores de h obtidos para cada uma das condições do cálculo de ET mostrados na Tabela 1, calculou-se a variação de armazenamento de água no solo (Δh), para um dado intervalo de tempo entre irrigações θt , conforme a equação 5:

$$\Delta h_{Rn} = \frac{\sum_{R=i}^n \int_0^Z \theta(Z_i)_{t2} dz}{n} - \frac{\sum_{R=i}^n \int_0^Z \theta(Z_i)_{t1} dz}{n} \quad (4)$$

em que: Δh é o valor da variação de armazenamento de água do solo em cada posição de monitoramento – mm; θ_{t1} é o valor de umidade antes do início da irrigação em um ponto de monitoramento - $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$; θ_{t2} é o valor de umidade antes da irrigação subsequente em um ponto de monitoramento - $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

A drenagem era mensurada antes de cada intervalo de irrigação com o uso de uma proveta graduada. O volume drenado era multiplicado para área do lisímetro obtendo assim a lâmina drenada para compor o balanço hídrico.

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 do erro médio ao quadrado

(RMSE), e o erro máximo absoluto. Esses índices foram considerados como avaliação complementar das comparações dos valores de ET.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Pi - Oi)^2}{n}} \quad (5)$$

$$EMAX = \max\{|Pi - Oi|\}_{i=1}^n \quad (6)$$

em que: Oi são os dados padrões de evapotranspiração obtidos com o máximo número de sondas conforme a descrição da tabela anterior; Pi são os dados estimados com os demais números de sondas; O é a média dos valores tomados como padrão e N é o número de observações em cada comparação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 encontra-se a correlação entre os valores de ETc calculados com oito sensores (NP1) e quatro sensores (NP2), bem como o resultado do teste de nulidade conjunta, o RMSE e EMAX. O teste de nulidade conjunta bem como os parâmetros estatísticos adicionais mostraram não haver diferença na estimativa de evapotranspiração por meio do balanço de água no solo ao se utilizar quatro (NP2) e oito (NP1) sondas instaladas.

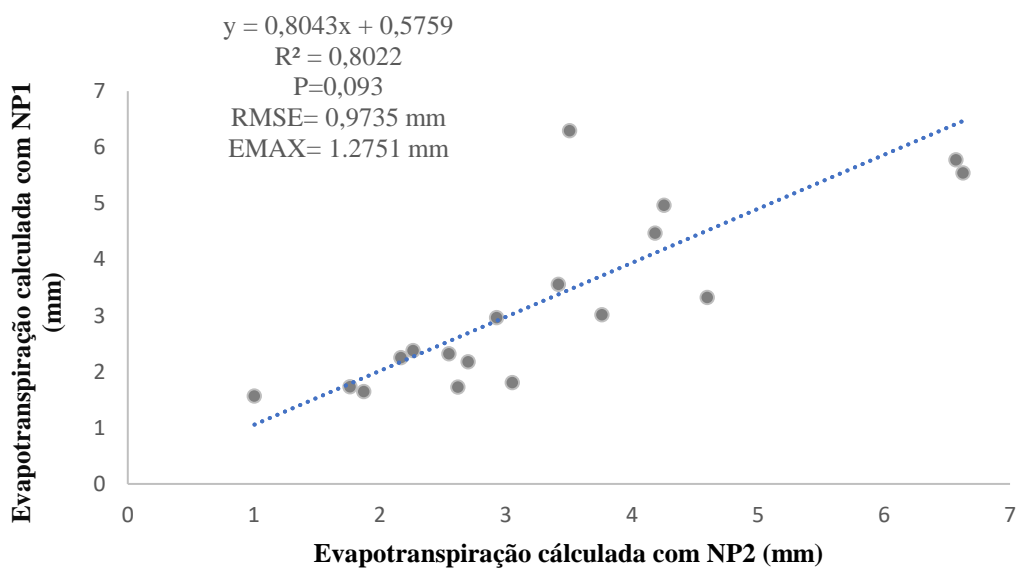


Figura 2. Relação entre os valores de Evapotranspiração do meloeiro estimado pelo balanço de água no solo variando o número e o posição dos sensores instalados na zona radicular do meloeiro. NP1 – oito sondas, NP2 - quatro sondas.

Diante da similaridade verificada no cálculo do balanço de água no solo com NP1 e NP2, apresenta-se na Tabela 1, os valores de P do teste de nulidade conjunta, raiz quadrada do erro médio (RSME) e erro máximo absoluto (EMAX) para comparação cruzada entre NP2, NP3, NP4 e NP5. Houve diferença na estimativa da evapotranspiração variando o número de sondas segundo o teste de nulidade conjunta para todas as comparações propostas.

Tabela 1. Índices estatísticos para comparação entre os valores de evapotranspiração obtidos com diferentes números e posições de sondas de umidade instaladas a distância $R = 0,18$ m.

	Valor P ($H_0: a=0$ e $b=1$)	RMSE	EMAX
NP2 X NP3	0,00001	0,7214	2,000
NP2 X NP4	0,00001	1,3879	3,2581
NP2 X NP5	0,00001	1,4866	3,5000

P-teste de nulidade conjunta; RMSE- raiz quadrada do erro médio ao quadrado; EMAX- erro máximo.

A comparação do valor de ET_c calculada com NP2, NP3, NP4 e NP5, apresentaram erros máximos e RMSE maiores que $0,7 \text{ mm dia}^{-1}$, indicando aumento do erro a medida em que se reduz o número de sondas utilizadas no cálculo do balanço de água no solo. A comparação dos valores de ET_c obtidos com quatro sondas e uma sonda mostrou as maiores distâncias, tomando como base o RMSE $1,4866 \text{ mm dia}^{-1}$ e de erro máximo de $3,5000 \text{ mm}$. Isso indica que a determinação do balanço de água no solo em cultivo de meloeiro com menos de quatro sondas pode proporcionar valores pouco confiáveis.

O RMSE encontrado entre NP2 x NP5, representa uma diferença equivalente a $2,60$ litros por planta dia^{-1} . De fato, trata-se de uma diferença com importante implicação no gerenciamento da irrigação, pois, representa uma variação de proposição de demanda de água pela cultura equivalente a um volume de $15,60 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ por hectare - considerando uma densidade de plantio igual a 6000 plantas por hectare. Adicionalmente, ao se levar em conta um ciclo de cultivo de 90 dias, tal diferença representa um volume de 1404 m^3 por hectare.

A diferença da ET_c em relação ao posicionamento e número de sondas tem sido explicado recentemente pelo fato de existir uma considerável variabilidade nos valores de extração de água na zona radicular e conseqüentemente nos teores de umidade solo coletados para o cálculo do balanço de água no solo (Soulis & Elmaloglou, 2018; Silva et al, 2018). Visando atenuar este problema, especificamente, para o caso do meloeiro irrigado por gotejamento, para representar o que de fato ocorre na região explorada pelas raízes da cultura, o presente estudo sugere que a coleta de umidade do solo deve ocorrer em no mínimo 4 sondas instaladas até $0,40$ m da planta.

CONCLUSÕES

Verificou-se haver diferença na estimativa da ET_c pelo método do balanço de água no solo ao se variar o número e a posição de sensores de umidade instaladas na zona radicular do meloeiro. Para assegurar uma maior confiabilidade nos valores de ET_c calculados, recomenda-se que a determinação do balanço de água no solo do meloeiro irrigado por gotejamento seja realizada utilizando no mínimo 4 sondas instaladas a: 0,10; 0,20; 0,30 e 0,40 m de profundidade, distanciadas em até 0,40 m da planta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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. *ScientiaAgricola*, v. 72, n. 5, p. 385-392, 2015.
- MAYER, D. G.; STUART, M. A.; SWAIN, A. J. Regression of real-world data on model output: an appropriate overall test of validity. *Agricultural Systems*, v. 45, n. 1, p. 93-104, 1994.
- MOTA, J. C. A., LIBARDI, P. L., JÚNIOR, R. N. A., BRITO, A. S., LOBATO, M. G. R., ALENCAR, T. L., LIMA JÚNIOR, J. C. Climatic and Soil Water Balances for the Melon Crop. *Journal of Agricultural Science*, v. 10, n. 2, p. 116, 2018.
- 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. *EngenhariaAgrícola*, v. 33, n. 3, 2016.
- RAMADAN, K. M., OATES, M. J., MOLINA-MARTINEZ, J. M., & RUIZ-CANALES, A. Design and implementation of a lowcost photovoltaic soil moisture monitoring station for irrigation scheduling with different frequency domain analysis probe structures. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 148, p. 148-159, 2018.
- SILVA, A.J.P; COELHO, E.F. COELHO FILHO, M.A; SOUZA, J.L. Water extraction and implications on soil moisture sensor placement in the root zone of banana. *Scientia Agrícola*, v.75, n.2, p.95-172, 2018.

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.

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.

SOULIS, K, X.; ELMALOGLOU, S. Optimum soil water content sensors placement for surface drip irrigation scheduling in layered soils. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 152, p. 1-8, 2018.

TEDESCHI, L.O. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agricultural systems*, v. 89, n. 2-3, p. 225-247, 2006.