

CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO POR REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO E BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO EM CULTIVO DE MILHO

ADOLPHO EMANUEL QUINTELA DA ROCHA¹; GUILHERME BASTOS LYRA²;
JOSÉ LEONALDO DE SOUZA³; GUSTAVO BASTOS LYRA⁴, RUI PALMEIRA
MEDEIROS⁵ E IÊDO TEODORO²

¹Eng. Agrônomo, Mestrando em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, BR 104 Norte, km 85 – 57.100-000 - Rio Largo, AL. E-mail: adolphoquintela@hotmail.com.

²Eng. Agrônomo, Prof. D.Sc., Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, AL.

³Meteorologista, Prof. D.Sc., Universidade Federal de Alagoas, Laboratório de Agrometeorologia e Radiometria Solar, Maceió, AL.

⁴Meteorologista, Prof. D.Sc., Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais, Seropédica, RJ.

⁵Mestre em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, AL.

1 RESUMO

A água é um dos principais fatores para a produção agrícola, sobretudo em regiões como o Nordeste brasileiro, onde as chuvas são escassas e com distribuição espaço-temporal heterogêneas. Objetivou-se no presente trabalho determinar a variação do conteúdo de água no solo através do balanço de água, em função de três métodos de determinação do coeficiente estresse de água (K_s), e compará-la com a obtida por Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR). Medições da água no solo e observações meteorológicas foram realizadas em cultivo de milho durante quatro épocas de cultivo, E1 - 06/maio a 01/setembro, E2 - 19/maio a 16/setembro, E3 - 10/junho a 06/outubro e E4 - 30/junho a 24/outubro de 2008, na região de Arapiraca-AL. Os métodos de K_s avaliados foram: logarítmico, FAO56 e linear. Observou-se que conforme a disponibilidade de água diminuiu as estimativas baseadas no K_s logarítmico e FAO56 apresentaram menor aproximação com as medidas do TDR, enquanto que em épocas de maior disponibilidade ocorreu maior aproximação. O método linear apresentou os menores erros máximos e concordância semelhante aos demais métodos nas épocas de menor disponibilidade hídrica.

Palavras-chave: Coeficiente de estresse de água, Evapotranspiração real, *Zea mays* L.

**ROCHA, A.E.Q. da; LYRA, G.B.; SOUZA, J.L. de; LYRA, G.B.; MEDEIROS, R.P.;
TEODORO, I.**

**SOIL WATER CONTENT BY TIME-DOMAIN REFLECTOMETRY AND SOIL
WATER BALANCE IN MAIZE CROP**

2 ABSTRACT

Water is a major factor for agricultural production, especially in the Brazilian Northeast, where rainfalls are scarce and show an heterogeneous spatial-temporal distribution. The objective of the study was to determine the variation of water content in the soil through the

water balance by three methods for determination of water stress coefficient (K_s), and to compare it to that obtained by Time-Domain Reflectometry (TDR). Soil water measurements and meteorological observations were performed in maize crop in four growing seasons: 06 May to 01 September, E1, 19 May – 16 September (E2), 10 June – 06 October (E3) and 30 June to 24 October (E4) in 2008, in the region of Arapiraca, Alagoas state, Brazil. The K_s methods evaluated were as follows: Logarithmic, FAO56 and linear. As water availability decreased, the estimates based on K_s , logarithmic and FAO56 had lower approximation to TDR measurements, while in periods of greater water availability, higher approximation was observed. The linear method showed the lowest maximum errors and similar concordance to the other methods in periods of low water availability

Keywords: water stress coefficient, actual evapotranspiration, Zea mays L.

3 INTRODUÇÃO

A água é um dos principais fatores para a produção agrícola, sobretudo do Nordeste brasileiro (NEB), onde os cultivos são geralmente em regime de sequeiro e as chuvas escassas, com distribuição heterogênea no espaço e no tempo (ANTONINO et al., 2000). Desta forma, torna-se necessário a realização de estudos referentes à disponibilidade de água para as principais culturas da região, de modo a se obter informações sobre as melhores épocas de cultivo, exigência hídrica e estratégias de manejo do solo e da cultura.

No NEB, o milho destaca-se entre as culturas de subsistência, e sua exigência hídrica está entre 400 e 600 mm (FANCELLI, 2001), com variação de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura. No Estado de Alagoas, a semeadura da cultura geralmente ocorre no início do período chuvoso, que normalmente se inicia em maio e se prolonga até agosto, de maneira a se evitar condições de déficit de água durante o ciclo. Entretanto, em determinados anos, observa-se estresse hídrico nos estádios finais da cultura, devido à irregularidade das chuvas, o que compromete a produtividade (LYRA et al., 2010a; BRITO, 2009; CUENCA et al., 2005). Assim, o monitoramento da disponibilidade de água no solo torna-se indispensável para o estabelecimento de estratégias de projeto e manejo que otimizem o uso da água pelas culturas (CINTRA et al., 2000).

O balanço de água no solo destaca-se entre os métodos de monitoramento da água no solo por permitir extrapolação das estimativas do balanço de água para extensas áreas, enquanto, os métodos diretos e indiretos são pontuais (LYRA et al., 2010b). Este método se baseia na quantificação das entradas e saídas de água no sistema solo-planta-atmosfera (CINTRA et al., 2000). Dentre as variáveis de saída, destaca-se a evapotranspiração da cultura (ET_c), que por sua vez apresenta declínio em condições de déficit de água. A diminuição de ET_c pode ser numericamente expressa pelo coeficiente de estresse de água (K_s). O K_s pode ser estimado por vários métodos, que permitem quantificar a redução da ET_c de forma linear, logarítmica ou somente a partir de determinado ponto da umidade do solo (NOILHAN e PLANTON, 1989; BERNARDO, 1995; ALLEN et al., 1998), de forma a se obter a evapotranspiração real da cultura (ET_r).

Assim, torna-se necessária a avaliação da influência dos métodos de cálculo de K_s na determinação da água no solo e sua comparação com outros métodos, como por exemplo, a Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR). O TDR é baseado no estabelecimento do tempo de deslocamento de uma sequência de pulsos que possuem harmônicos na frequência de micro-ondas em uma linha de transmissão, composta de sondas introduzidas no solo, em

que a velocidade do pulso é relacionada ao conteúdo de água no solo (TOMMASELLI e BACCHI, 2001; EVETT, 2003). Esta técnica se destaca por ser não destrutiva, pela possibilidade de automação das medidas, multiplexação de várias sondas num único equipamento, e principalmente pela sua exatidão (VAZ et al., 2004; COELHO et al., 2006; REGALADO et al., 2003).

De acordo com exposto, o objetivo do presente trabalho foi determinar a variação do conteúdo de água no solo através do balanço de água, em função de três métodos de determinação do coeficiente de estresse de água, e compará-la com a medida por TDR.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Medições do conteúdo de água no solo e observações meteorológicas foram realizadas durante quatro épocas de cultivo de milho (*Zea mays* L.), E1 - 06/maio a 01/setembro, E2 - 19/maio a 16/setembro, E3 - 10/junho a 06/outubro e E4 - 30/junho a 24/outubro (E4) de 2008, no povoado Batingas (09° 48' 55,1" S, 36° 36' 22,8" W, 236 m), localizado no município de Arapiraca, Estado de Alagoas. O critério para escolha das épocas de cultivo foi baseado no zoneamento climático do Ministério da Agricultura para a cultura do milho em Alagoas, sendo as três primeiras compreendidas dentro do período recomendado e a última dez dias após a data limite preconizada. O clima da região pela classificação de Köppen é do tipo "As" – Tropical Chuvoso, com uma estação seca no verão e chuva de outono/inverno. O solo do local foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 1999), com topografia plana. A análise granulométrica e classificação textural do perfil do solo de 0,0 a 0,6 m de profundidade são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Análise granulométrica e classificação das camadas do solo da área experimental.

Profundidade	Areia	Silte	Argila	Classe textural
M	g kg ⁻¹			
0,00 – 0,10	870	110	20	Areia- franca
0,10 – 0,20	870	110	20	Areia- franca
0,20 – 0,30	830	150	20	Franco-arenosa
0,30 – 0,40	830	150	20	Franco-arenosa
0,40 – 0,50	770	220	10	Franco- argiloarenosa
0,50 – 0,60	750	240	10	Franco- argiloarenosa

A adubação de plantio foi efetuada conforme recomendação de Cruz et al. (1996), utilizando 40 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 50 kg ha⁻¹ de K₂O e 2 kg ha⁻¹ de Zn. A variedade de milho cultivada foi a AL Bandeirantes, semeada no espaçamento entre linhas de 0,8 m e população final de 55.000 plantas ha⁻¹. A adubação de cobertura foi efetuada manualmente utilizando-se 100 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio, divididos em duas aplicações, ou seja, quando as plantas apresentavam quatro e oito folhas totalmente expandidas, respectivamente. Foram feitas três aplicações de uma solução de micronutrientes, quando as plantas apresentavam quatro, seis e oito folhas totalmente expandidas.

O conteúdo de água no solo foi medido por sondas TDR (modelo CS616 Water Content Reflectometers, Campbell Scientific, Inc., Utah) conectado a um sistema automático de aquisição de dados CR10X, programado para fazer medidas a cada 10 segundos e

armazenar a média a cada cinco minutos. A informação do conteúdo de água foi obtida por uma sonda sensível à constante dielétrica do meio, composta de um dispositivo elétrico ligado por cabos a duas hastas de aço que transmite uma onda. Assim, o período de saída da sonda varia como conteúdo de água no solo (SOUZA et al., 2006). As sondas mediam 0,30 m de comprimento e foram posicionadas verticalmente no solo, entre as plantas e nas profundidades de 0,0 a 0,30 m e 0,30 a 0,60 m de profundidade. Antes da instalação, o TDR foi calibrado para o solo local nas profundidades de 0,0 a 0,30 m e 0,30 a 0,60 m, através da relação entre a umidade determinada pelo método gravimétrico e as leituras do período das sondas do equipamento. Ao final, os dados foram ajustados ao modelo polinomial do segundo grau (CAMPBELL, 2004), cujos coeficientes de ajuste e de determinação do modelo são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores dos coeficientes de ajuste (a, b e c) e de determinação (R^2) do modelo polinomial do segundo grau ($a + bx + cx^2$) para o TDR nas camadas de solo de 0,0 m a 0,3 m e 0,3 m a 0,6 m de profundidade. Valores entre parênteses representam o erro padrão da estimativa.

Profundidade (m)	Coeficientes			R^2
	a	b	c	
0,00 – 0,30	0,1228 ($\pm 0,2364$)	-0,0309 ($\pm 0,0213$)	0,0015 ($\pm 0,0005$)	0,99
0,30 – 0,60	0,1927 ($\pm 0,1382$)	-0,0327 ($\pm 0,0121$)	0,0014 ($\pm 0,0003$)	0,99

Além da medição da variação do conteúdo de água no solo através do TDR, esta foi determinada também através do balanço de água no solo baseado em suas características físico-hídricas e nos elementos meteorológicos, para posterior comparação entre ambos. A ET_c (mm dia^{-1}) foi calculada conforme a equação 1 (ALLEN et al., 1998):

$$ET_c = \varepsilon T_o K_c \quad (1)$$

A evapotranspiração de referência (ET_o , mm dia^{-1}) foi determinada pelo modelo de Penman-Monteith parametrizado para uma cultura hipotética no boletim FAO56 (ALLEN et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - \gamma) + \left(\frac{900}{T_m + 273} \right) u_2 (e_s - e)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (2)$$

em que: R_n é o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); u_2 é a velocidade do vento a 2,0 m de altura (m s^{-1}); e_s é a pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa); e é a pressão do vapor d'água do ar (kPa); T_m é a temperatura do ar média diária ($^{\circ}\text{C}$); Δ é a inclinação da curva da pressão de vapor d'água do ar no ponto de T_m ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$) e γ é o coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

O coeficiente de cultura (K_c) foi calculado pelo método “dual”, proposto no boletim FAO56, em que os efeitos da evaporação da água no solo e transpiração são determinados separadamente, conforme a equação 3:

$$K_c = \zeta_e + \zeta_{cb} \quad (3)$$

em que: K_e é o coeficiente de evaporação da água na superfície do solo e K_{cb} é o coeficiente de cultura basal. Detalhes dos procedimentos para determinação de K_e e K_{cb} são descritos por Allen et al. (1998) e Lyra et al. (2007).

A ET_r (mm dia^{-1}) foi determinada multiplicando-se o K_{cb} pelo coeficiente de estresse de água (K_s), conforme a equação 4:

$$ET_r = (K_e + \zeta_{cb} K_s) ET_0 \quad (4)$$

Os valores diários de K_s foram determinados utilizando-se três métodos, conforme a seguir:

$$K_s = \frac{\ln(LAA + Z_r)}{\ln(AD + Z_r)} \quad \begin{array}{l} \text{Método Logarítmico} \\ \text{(BERNARDO, 1995)} \end{array} \quad (5)$$

$$K_s = \frac{LAA}{AD} \quad \begin{array}{l} \text{Método Linear} \\ \text{(NOILHAN E PLANTON,} \\ \text{1989)} \end{array} \quad (6)$$

$$K_s = \begin{array}{ll} p / D_r < AFD & \\ K_s = \frac{AD - D_r}{AD - AFD} = \frac{AD - D_r}{(1 - p) AD} & p / D_r > AFD \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Boletim FAO56} \\ \text{(ALLEN et al., 1998)} \end{array} \quad (7)$$

em que: K_s é o coeficiente de estresse de água, que reduz a transpiração em função da água disponível do solo [0 - 1]; D_r é a depleção na zona radicular (mm); AD [= $1000(\theta_{cc} - \theta_{pm}) Z_r$] é água disponível total na zona radicular (mm), em que considerou-se 0,6 m, determinada a partir dos valores de umidade volumétrica do solo obtidos em laboratório pela curva de retenção de água no solo, capacidade de campo ($\theta_{cc} = 0,128 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e ponto de murcha ($\theta_{pm} = 0,072 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$); AFD (mm) é a água facilmente disponível ($AFD = AD p$); p é a fração da AD que uma cultura pode extrair da zona radicular sem sofrer estresse de água (fator de disponibilidade hídrica), considerado igual a 0,55 (ALLEN et al., 1998); e LAA é a lâmina atual de água disponível no solo (mm), determinada conforme a equação 8:

$$LAA_i = LAA_{(i-1)} + P_{(i-1)} - D_{(i-1)} - R_{(i-1)} - ET_{r(i-1)} \quad (8)$$

em que: LAA representam a lâmina de água disponível no solo (mm); P é a precipitação pluvial (mm); D é a drenagem profunda (mm), em que considerou-se que na profundidade Z_r a drenagem é proporcional ao armazenamento na camada acima desta profundidade, e que nesta o gradiente de potencial total é unitário, como citado por Pereira (1986); R é o escoamento superficial (mm), estimado através do modelo empírico descrito por Campbell e Diaz (1988); e ET_r é a evapotranspiração real da cultura (mm) determinada em função dos três métodos de K_s descritos anteriormente. Determinou-se a precipitação efetiva (P_e) subtraindo-se o R da precipitação pluvial. O termo subscrito i e $i-1$ representam o dia atual e o dia anterior, respectivamente.

Para avaliação da LAA determinada pelos métodos avaliados de K_s , considerou-se como observada a medida pelo TDR. A aproximação entre os valores foi avaliada por

intermédio do índice de concordância (d) proposto por Willmott (1981), que quantifica a aproximação entre dados observados (TDR) e estimados (Métodos de K_s). Tal índice varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior a aproximação entre os dados observados e estimados. O desempenho dos métodos também foi avaliado através do erro padrão da estimativa (EPE) e do erro máximo (EMAX), que medem o desvio médio e a maior diferença entre valores observados e estimados, respectivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o experimento observou-se tendência de diminuição nos valores de P_e conforme o atraso da época de plantio, sendo registrados na época E1 uma P_e total de 571,5 mm, com 103 dias chuvosos (90% do ciclo), o que representou frequência média de um evento a cada 1,1 dias, com média por evento de 5,0 e máxima de 33,0 mm dia^{-1} (55 dias após a emergência - DAE). A ET_o total durante E1 foi de 350,1 mm, com média de 3,1 mm (Figura 1A). Nesta época, a ET_r acumulada estimada pelos métodos logarítmico (350,2 mm), FAO56 (361,6 mm) e linear (321,2 mm) foi inferior a P_e total. A ET_r total estimada pelos métodos de K_s apresentou diferença máxima em relação a ET_c (381,6 mm) de 13 % (linear), visto que a cultura não apresentou longos períodos de estresse hídrico (Figura 2A). Considerou-se que o estresse ocorre quando o conteúdo de água no solo situa-se abaixo do limite inferior da AFD (MOUSINHO et al., 2008).

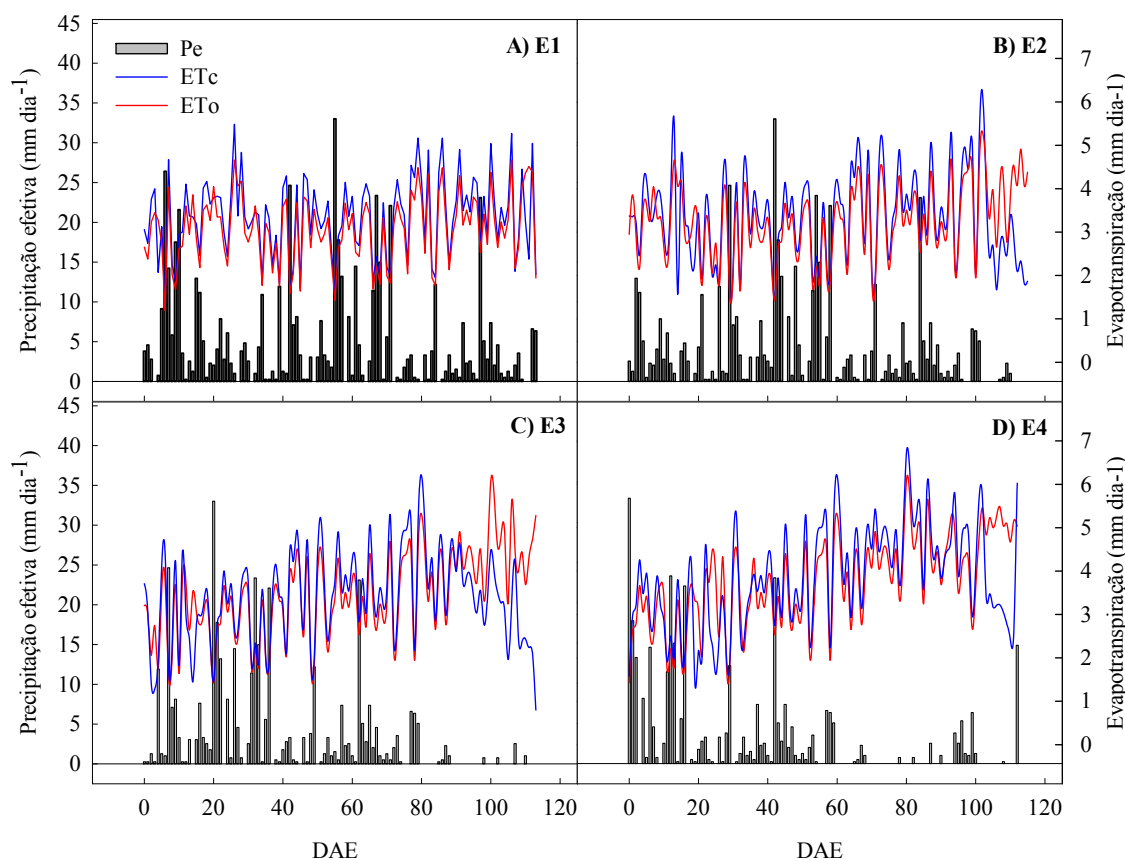


Figura 1. Precipitação pluvial efetiva (P_e), evapotranspiração da cultura (ET_c) e de referência (ET_o), durante as quatro épocas de cultivo, 06 de maio (E1), 19 de maio (E2), 10 de junho (E3) e 30 junho (E4) em Arapiraca – AL, 2008.

De acordo com o TDR, o solo apresentou LAA superior a AFD em 86% do ciclo da cultura, sendo observados períodos de estresse entre 80 e 97 DAE devido a valores de P_e inferiores a 3,3 mm, que ocasionaram diminuição da LAA (Figuras 2A). No decorrer de E1, de acordo com as estimativas do K_s FAO56, logarítmico e linear, a LAA se manteve no intervalo da AFD em 83, 84 e 100% do ciclo, respectivamente (Figura 2A). Assim, observou-se que, como o K_s linear promoveu maior penalização da ET_c em relação aos outros métodos, a LAA apresentou-se maior, devido à maior redução da ET_c por esse método. Contudo, por considerar redução da ET_c apenas abaixo da AFD, o K_s FAO56 tende a apresentar maior ET_r , e conseqüentemente, indicou menor conteúdo água no solo, sobretudo em períodos em que a LAA não se apresenta inferior à AFD. Entretanto, deve-se observar que o estresse hídrico pode variar durante o dia em função do fluxo de água não estável no solo, que pode reduzir a disponibilidade hídrica ou o potencial matricial na zona radicular, o que acarretará aumento ou declínio do K_s durante o dia (SHAOZHONG et al., 2000).

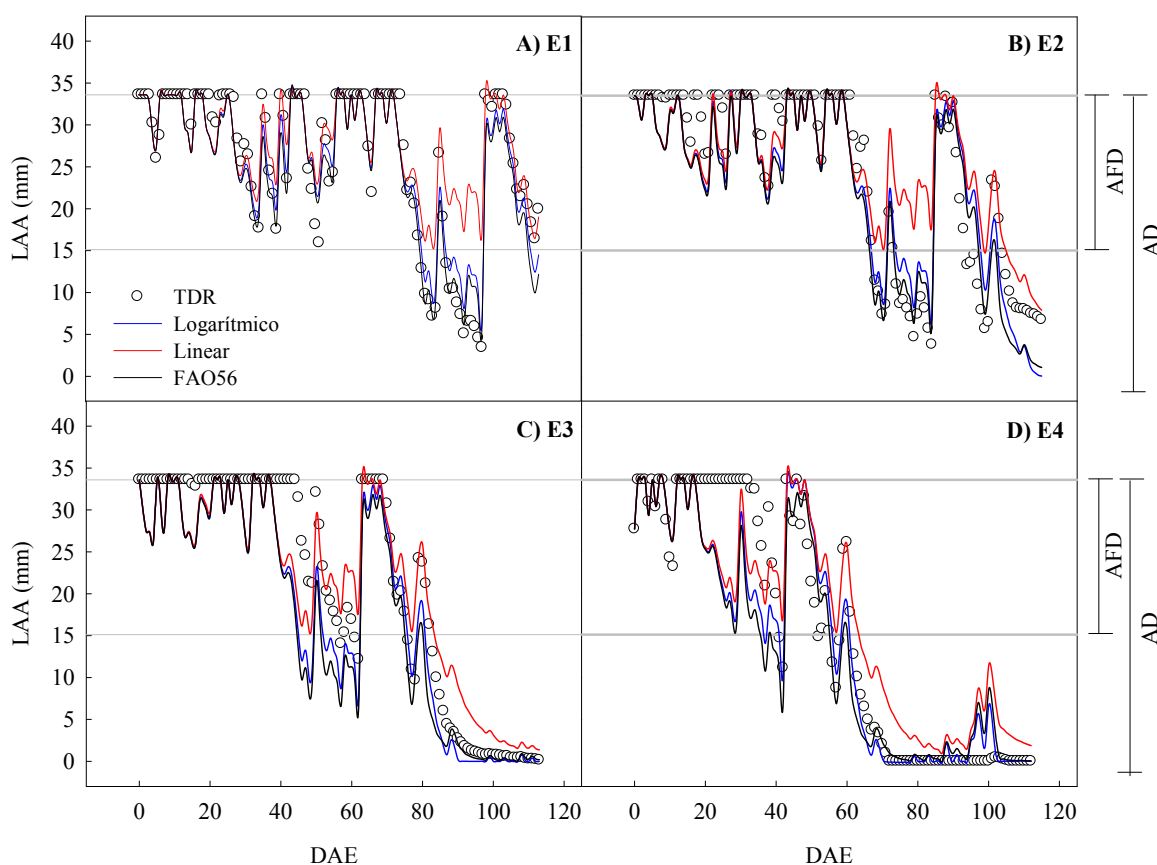


Figura 2. Variação da lâmina atual de água no solo (LAA) medida pelo TDR e estimada através dos métodos logarítmico, linear e FAO56, durante as quatro épocas de cultivo (E1, E2, E3 e E4), na região de Arapiraca-AL. Dias após a emergência (DAE), água disponível (AD) e água facilmente disponível (AFD).

Em relação ao desempenho dos balanços de água obtidos através do K_s , na época E1 os dados estimados pelo K_s linear apresentaram menor concordância com as estimativas do TDR, indicado pelo menor valor de “d” (0,87) e maiores EPE ($\pm 5,16$ mm) e EMAX (16,09 mm) em relação aos métodos logarítmicos e FAO56, em que ambos apresentaram d de 0,97, EPE de 2,92 e 3,09 mm e EMAX de 7,14 e 7,76 mm, respectivamente (Tabela 3). Esses

resultados concordam com Colaizzi et al. (2003) e Shaozhong et al. (2000), que também observaram melhor desempenho do método logarítmico para estimativas do K_s .

Tabela 3. Índice de concordância (d), erro padrão da estimativa (EPE) e erro máximo (EMAX) para comparação da lâmina atual de água disponível no solo determinada pelo TDR e pelos métodos de K_s logarítmico, linear e FAO56, durante as épocas de cultivo 1 (E1), 2 (E2), 3 (E3) e 4 (E4).

Método de K_s	Época de Cultivo		
	d	EPE (mm)	EMAX (mm)
E1			
Logarítmico	0,97	± 2,92	7,14
Linear	0,87	± 5,16	16,09
FAO56	0,97	± 3,09	7,76
E2			
Logarítmico	0,96	± 4,30	8,07
Linear	0,88	± 6,02	15,69
FAO56	0,96	± 4,32	9,51
E3			
Logarítmico	0,96	± 5,16	16,51
Linear	0,96	± 4,59	13,19
FAO56	0,95	± 6,01	18,53
E4			
Logarítmico	0,96	± 5,32	16,40
Linear	0,95	± 5,55	14,12
FAO56	0,95	± 6,09	17,71

Foram registrados 470,1 mm de P_e durante E2, com 96 dias chuvosos (86% do ciclo), máxima de 33,0 mm (42 DAE) e intervalo médio entre eventos de 1,2 dias. A ET_o apresentou média de 3,2 mm dia⁻¹ e totalizou 375,5 mm no ciclo, enquanto que a ET_c total foi de 386,6 mm, com média de 3,3 mm dia⁻¹ (Figura 1B). A ET_r total estimada pelos métodos logarítmico, linear e FAO56 apresentou valores de 342,40; 318,58 e 343,30 mm, respectivamente, que diferiu no máximo em relação a ET_c em 18%. A variação da LAA durante E2 de acordo com TDR se mostrou acima do limite inferior da AFD em 71% do ciclo. Os valores abaixo da AFD ocorreram em períodos distintos, o primeiro com início aos 68 DAE, que perdurou até os 84 DAE, quando ocorreram eventos de chuva de até 23,1 mm, que fez com o LAA atingisse valores superiores ao limite inferior da AFD; e o segundo a partir dos 94 DAE, quando os valores de P_e não ultrapassaram 6,6 mm, e se estendeu até o final do ciclo em E2, devido aos valores nulos de P_e (Figura 1B e 2B).

Conforme os valores estimados da LAA pelos métodos FAO56 e logarítmico durante E2, a LAA foi superior ao limite da AFD em 72% do ciclo, enquanto que baseado no método linear isto foi verificado em 90% do período (Figura 2B). Os métodos logarítmico e FAO56 apresentaram maior concordância com as determinações do TDR, com “d” igual a 0,96, enquanto que o linear apresentou valor de 0,88. O EPE foi menor para o logarítmico (± 4,30 mm) e maior para o linear (± 6,02 mm). Similar ao observado em E1, o EMAX foi próximo

para os métodos logarítmico e FAO56 com 8,07 e 9,51 mm, respectivamente, enquanto que o linear apresentou valor superior e de 15,69 mm (Tabela 3).

Durante E3, a P_e total foi de 385,8 mm, com ocorrência em média de um evento a cada 1,4 dias, para 80 dias chuvosos (70% do ciclo). O evento máximo foi de 33,0 mm (20 DAE) e a média de 3,4 mm dia⁻¹. A ET_o apresentou média de 3,5 mm e total de 394,6 mm. A ET_c média do período foi de 3,3 mm dia⁻¹, e totalizou 385,4 mm (Figura 1C), sendo inferior à ET_r estimada pelos métodos logarítmico (269,8 mm) e FAO56 (269,2 mm) em 30%, enquanto que em relação ao linear (256,7 mm) a diferença foi 33%. A LAA durante E3 se mostrou superior à AFD em 68% do ciclo de acordo com o TDR. Nesta época, o maior período de déficit teve início aos 76 DAE, visto que dos 34 dias deste período, em apenas 10 dias foram registrados eventos de chuva, sendo três entre 5,0 e 6,0 mm, e os demais inferiores a 2,3 mm (Figuras 1C e 2C).

Em E3 as estimativas do K_s logarítmico e FAO56 indicaram LAA no intervalo da AFD em 54% do ciclo. Estimativa superior foi obtida pelo K_s linear, que mostrou LAA superior a AFD em 74% do período (Figura 2C). O desempenho de todos os métodos de K_s avaliados se mostrou análogo, com “d” de 0,96 (logarítmico e linear) e 0,95 (FAO56). O EPE e o EMAX se mostraram superiores para os métodos FAO56 (\pm 6,01 mm e 18,53 mm) e inferiores para o linear (\pm 4,59 e 13,19 mm) (Tabela 3).

Na época E4, a P_e total foi de 341,1 mm, e superou a ET_r estimada pelos métodos logarítmicos (231,9 mm), FAO56 (236,2 mm) e linear (216,6 mm). Entretanto, tais valores indicam que a cultura apresentou déficit hídrico moderado a severo, pois a mesma mostrou ET_c total de 434,3 mm (Figura 1D). De acordo com o TDR, na época E4 o solo teve LAA no intervalo da AFD em 50% do ciclo do milho, próximo ao método logarítmico que indicou 49%. Enquanto que pelo método FAO56 e linear essa condição ocorreu em 46 e 57% do ciclo, respectivamente (Figura 2D). Ainda durante esta época, a partir de 60 DAE, os eventos de precipitações diminuíram, acarretando diminuição total da LAA, até atingir o ponto de murcha permanente, de acordo com o TDR. Após esse dia, a P_e máxima registrada foi de 6,3 mm (99 DAE), o que resultou em LAA obtida em função dos métodos de K_s de 6,6 mm (logarítmico), 9,2 mm (FAO56) e 11,3 mm (linear). Porém, tal elevação não ocorreu de acordo com o TDR, visto que a água pode ter sido interceptada pelo dossel da cultura, parâmetro este que não foi considerado na determinação do balanço hídrico do solo (Figura 2D).

Durante a época E4, as estimativas do método logarítmico apresentaram maior concordância com o TDR, com valor de “d” igual a 0,96, enquanto, que o método linear e FAO56 apresentaram “d” igual a 0,95. Em relação ao EPE, o FAO56 apresentou o maior valor (\pm 6,09 mm), entretanto, com diferenças próximas entre os métodos logarítmico (5,32 mm) e linear (5,55 mm). O maior EMAX foi apresentado na estimativa do método FAO56 (17,71 mm), porém próximos ao logarítmico (16,40 mm) e linear (14,12 mm), conforme a Tabela 3.

6 CONCLUSÕES

O conteúdo de água no solo obtido pelo balanço de água no solo considerando os métodos de K_s , logaritmo e FAO56, apresentam melhores estimativas quando a cultura não está em condições de déficit de água solo. À medida que aumentam os períodos de déficit de água os métodos induzem a um maior erro das estimativas do conteúdo de água no solo. O

método do K_s linear apresenta padrão inverso, com melhores estimativas em condições de maiores períodos com déficit hídrico.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. A.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements**. Roma: FAO, 1998. 328p. (Irrigation and drainage paper, 56).
- ANTONINO, A.C.D.; SAMPATIO, E.V.S.B.; DALL'OLIO, A.; SALCEDO, I.H. Balanço hídrico em solo com cultivo de subsistência no semiárido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n,1, p.29-34, 2000.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6ª ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995. 657p.
- BRITO, J.E.D. **Calendário agroclimático para a cultura do milho na região de Arapiraca-AL**. 2009, 62f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL.
- CAMPBELL SCIENTIFIC INC. **CS616 and CS625 Water Content Reflectometers – instruction manual**, Logan: CAMPBELL, 2004, 42 p.
- CAMPBELL, G., S.; DIAZ, R. Simplified soil-water balance models to predict crop transpiration. In: BIDERER, F.R.; JOHANSEN, C. **Drought research priorities for the dryland tropics**. Parancheru, Índia: Icrisat, 1988, p.15-26.
- CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L.; SAAD, A.M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 23-28, 2000.
- COELHO, E.F.; VELLAME, L.M.; COELHO FILHO, M.A.; SILVA, C.A.S. Desempenho de modelos de calibração de guias de onda acopladas a TDR e a multiplexadores em três tipos de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.23-30, 2006.
- COLAIZZI, P.D.; BARNERS, E.M.; CLARKE, T.R.; CHOI, C.Y.; WALBER, P.M. Estimating Soil Moisture Under Low Frequency Surface Irrigation Using Crop Water Stress Index. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, p. 27-35, january/february 2003.
- CUENCA, M. A. G; NAZÁRIO, C.C.; MANDARIDO, D.C. **Características e evolução da cultura do milho no Estado de Alagoas entre 1990 e 2003**. Aracaju: EMBRAPA - Tabuleiros Costeiros, 12p. (Embrapa - Tabuleiros Costeiros. Documentos, 83), 2005.
- CRUZ, T. C. MONTEIRO, J. A.; SANTANA, D. P.; GARCIA, J. L.; BAHIA, F. G. F. T.C.; SANS, L. M. A.; PERREIRA FILHO, I. A. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho** - 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1996, 204p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. (Rio de Janeiro, RJ) Brasília: Embrapa Produção e Informação; Rio de Janeiro: CNPS, 412 p., 1999.

EVETT, S.R. Soil water measurement by time domain reflectometry. **Encyclopedia of Water Science**, Marcel Dekker, Inc. New York, p.894-898, 2003.

FANCELLI, A.L. Ecofisiologia de plantas de lavoura. In: CARLESSO, R. (Ed.). **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, 2001, p.59-73.

LYRAa, G.B.; SOUZA, J.L.; TEODORO, I.; LYRA, G.B.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R.A. Conteúdo de água no solo em cultivo de milho sem e com cobertura morta na entrelinha na região de Arapiraca-AL. **Irriga**, Botucatu, v.15, n.2; p.173-183, abril-junho, 2010a.

LYRA, G.B.; LYRA, G.B.; SOUZA, J.L.; SANTOS, M.A. Balanço sequencial de água no solo para o manejo da irrigação de baixa frequência e alta intensidade na cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 28, n. 4, p.22-25, 2010b.

LYRA, G.B.; PEREIRA, A.R.; LYRA, G.B.; SEDIYAMA, G.C.; MAIA, S.M.F. Evapotranspiração da cultura de cana-de-açúcar na região de Tabuleiros Costeiros do estado de Alagoas: coeficiente da cultura "único" padrão boletim FAO-56. **STAB**, Piracicaba, v. 25, p. 40-43, 2007.

MOUSINHO, F.E.P.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; FRIZZONE, J.A. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do feijão-caupi no Estado do Piauí. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 139-145, 2008.

NOILHAN, J.; PLANTON, S. A simple parameterization of land surface processes for meteorological models. **American Meteorological Society**, Toulouse, v.117, 1989.

PEREIRA, A.R. Balanço hídrico de um solo podzolizado de Lins e Marília cultivado com cafeeiros. **Bragantia**, Campinas, v.45, n.2, p.239-247, 1986.

REGALADO, C.M.; CARPENA, R.M.; SOCORRO, A.R.; MORENO, J.M.H. Time domain reflectometry models as a tool to understand the dielectric response of volcanic soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.117, p.313-390, 2003.

SHAOZHONG, K.; HUANJIE, C.; JIANHUA, Z. Estimation of maize evapotranspiration under water deficits in a semiarid region. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 43, p. 11-14, 2000.

SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; ENDRES, L; MOURA FILHO, G; BRITO, J. E. D.; FERREIRA JUNIOR, R; ALMEIDA, A. C. S. **Umidade do solo em cultivo de feijão com refletômetro de conteúdo de água sob variações de cobertura do solo e de irrigação**. In: XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2006, João Pessoa. Anais... João Pessoa, agosto de 2006.

TOMMASELLI, J.T.G. & BACCHI, O.O.S. Calibração de um equipamento de TDR para medida da umidade de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 9, p. 1145-1154, set. 2001.

VAZ, C.M.P.; MATSURA, E.E.; TORRADO, P.V.; BACCHI, O.O.S. **Validação de 3 equipamentos de TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) para a medida da umidade de solos**. São Carlos: EMBRAPA, 4p. (Embrapa. Comunicado Técnico 61), 2004.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, Columbia, v.2, p.184-194, 1981.