



Balço sazonal de água no solo para manejo da irrigação de milho no semiárido de Alagoas

Seasonal soil water balance for corn irrigation management in the semiarid region of Alagoas, Brazil

Edmairis Rodrigues Araújo¹; Samuel Silva²; Carla Sabrina da Silva¹; Jonatas Emanuel Souza¹; Amanda Cibele da Paz Sousa¹; Iêdo Teodoro³

¹Graduandos em Engenharia Agrônoma no Instituto Federal de Alagoas, Piranhas, Alagoas, edmairisengifal@gmail.com; carlasabrina18@gmail.com; jonatas072010@gmail.com; amandacibele-21@hotmail.com. ²Professor do Instituto Federal de Alagoas, Piranhas, Alagoas, samuel.silva@ifal.edu.br. ³Professor adjunto no Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, Alagoas, iedoteodoro@gmail.com

ARTIGO

Recebido: 29/05/2020
Aprovado: 10/06/2021

Palavras-chave:
Zea mays L.
Demanda hídrica
Época de cultivo.

Key words:
Zea mays L.
Water demand
Cultivation seasons

RESUMO

O uso adequado dos recursos hídricos e o manejo correto da irrigação na cultura do milho necessitam de ferramentas práticas e simples, porém, baseadas em estudos científicos. Assim, objetivou-se com este trabalho elaborar balanços de água no solo, adaptando o modelo de Thornthwaite e Mather (1955) para o cultivo de milho em regime de sequeiro e irrigado, em diferentes épocas de cultivo (verão-outono, outono-inverno, inverno-primavera e primavera-verão) na região semiárida do estado de Alagoas. A pesquisa foi desenvolvida com dados meteorológicos obtidos em uma estação automática instalada na cidade de Piranhas. A evapotranspiração da cultura foi determinada pelo método do coeficiente da cultura único, a evapotranspiração de referência pelo modelo de Penman-Monteith e o balanço de água no solo pelo modelo de Thornthwaite e Mather. Na região semiárida de Alagoas, a demanda hídrica da cultura do milho é de 551, 457, 650 e 633 mm para cultivos de janeiro-maio, abril-agosto, julho-novembro e outubro-fevereiro, respectivamente, em que apenas a precipitação pluvial não é suficiente para suprir esta demanda, sendo necessário fazer uso da irrigação.

ABSTRACT

The proper use of water resources and the correct management of irrigation in maize crops require practical and simple tools, however, based on scientific studies. Thus, the objective of this work was to elaborate soil water balances, adapting the model of Thornthwaite and Mather (1955) for the cultivation of maize under rainfed and irrigated conditions, in different growing seasons (summer-autumn, autumn-winter, winter-spring and spring-summer) in the semiarid region of the state of Alagoas, Brazil. The research was carried out with meteorological data obtained from an automatic station installed in the city of Piranhas. Crop evapotranspiration was determined by the single crop coefficient method, reference evapotranspiration by the Penman-Monteith model and the soil water balance by the Thornthwaite and Mather model. In the semiarid region of Alagoas, the water demand of the corn crop is 551, 457, 650 and 633 mm for crops in January-May, April-August, July-November and October-February, respectively, in which only rainfall is not enough to supply this demand, being necessary to make use of irrigation.

INTRODUÇÃO

A maior parte dos cultivos de milho na região Nordeste do Brasil ocorre em regime de sequeiro (NOBRE et al., 2017). Nessa condição, a produtividade da cultura é limitada por fatores como restrição de variedades adaptadas às condições edafoclimáticas locais, cultivos em áreas sem aptidão agrícola e

elevada variabilidade climática sazonal (ANJOS et al., 2017). No estado de Alagoas, o fator climático se agrava, em função das chuvas se concentrarem em um único período úmido de quatro a cinco meses, de abril a agosto, que coincide com a época de menor disponibilidade de radiação solar (CARVALHO et al., 2013; MAGALHÃES et al., 2019; SILVA et al., 2015). Nessas condições, a utilização dos recursos hídricos disponíveis é



otimizada quando fatores edafoclimáticos e da cultura, envolvidos no contexto da irrigação, são considerados, destacando-se o adequado dimensionamento do sistema de irrigação, manejo correto de água, a definição de variedades a serem cultivadas e de épocas de plantio, considerando os períodos de desenvolvimento da cultura.

A demanda de água para irrigação é obtida por medidas diretas (método padrão da estufa) e indiretas da umidade do solo (tensiômetro, técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR) ou sondas de nêutrons) ou pelo balanço de água no solo baseado nas condições edafoclimáticas (TEIXEIRA et al., 2005; MOURA, 2019). No manejo em grandes áreas de cultivo se sobressai o balanço de água no solo, principalmente, em termos logísticos, pelas medidas diretas e indiretas. Isso ocorre devido à possibilidade de extrapolação das estimativas do balanço de água para extensas áreas, enquanto as medidas são pontuais. Nesse aspecto, o Balanço Hídrico Sequencial (BHS) de Thornthwaite e Mather (1955) apresenta-se como ferramenta prática e simples para tomada de decisão em diversas atividades agrícolas, tais como, manejo da irrigação, definição das condições do terreno para a mecanização, preparo de solo, adubação, controle de pragas e ervas daninhas, colheita etc. O BHS original necessita apenas do armazenamento máximo de água do solo (capacidade de água disponível – CAD), da chuva total e estimativas da evapotranspiração potencial ou de referência.

Quando o BHS é aplicado nas atividades agrícolas citadas anteriormente, necessitam-se, também, de algumas características da cultura, como por exemplo, estádios de desenvolvimento, coeficiente de cultivo, profundidade efetiva do sistema radicular e altura da planta (PEREIRA et al., 2017). Essas informações são utilizadas na determinação da evapotranspiração da cultura e da profundidade efetiva do perfil de solo explorado pelas raízes. O BHS de Thornthwaite e Mather (1955) é indicado principalmente para manejo de sistemas de irrigação de baixa frequência e alta intensidade, tais como, por superfície e aspersão. Assim, objetivou-se com este trabalho elaborar balanços de água no solo, adaptando o modelo de Thornthwaite e Mather (1955) para o cultivo de milho em regime de sequeiro e irrigado, em diferentes épocas de cultivo (verão-outono, outono-inverno, inverno-primavera e primavera-verão) na região semiárida do estado de Alagoas, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Na elaboração do balanço de água sequencial para a cultura do milho, foram consideradas as características edafoclimáticas da área experimental pertencente ao Laboratório de Agrometeorologia e Irrigação (9,622261° S, 37,767113° W, 187 m) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas (IFAL), Campus Piranhas. A classificação climática da região, segundo Köppen, é do tipo Bsh, clima muito quente, semiárido, com estação chuvosa centrada nos meses de abril, maio e junho, e a precipitação pluvial média anual da região é de 483 mm (SOUSA et al., 2010). O solo da área foi classificado como Luvisolo Crômico órtico sálico sódico de textura argilosa (FERNANDES et al., 2010).

O ciclo de cultivo do milho foi avaliado em dois regimes hídricos, sequeiro e irrigado. As épocas adotadas foram: verão-outono (época 1 - janeiro a maio/2018), outono-inverno (época 2

- abril a agosto/2018), inverno-primavera (época 3 - julho a novembro/2018) e primavera-verão (época 4 - outubro/2018 a fevereiro/2019). A duração do ciclo de cultivo foi de 120 dias (produção de grãos), com passo de tempo diário para as simulações.

Os elementos climáticos necessários para estimativa do balanço de água foram obtidos em estação automática de aquisição de dados pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no IFAL, Campus Piranhas. Foram coletados dados de temperatura (T, °C) e umidade relativa do ar (UR, %), velocidade do vento (u, m s⁻¹), precipitação pluvial (P, mm) e radiação solar (Rs, W m⁻²), além dos extremos (máxima e mínima) diários da temperatura e umidade relativa do ar.

A evapotranspiração da cultura (ET_c, mm) foi determinada pelo método do coeficiente da cultura único (ET_c = ET_o x K_c), sendo ET_o (mm) a evapotranspiração de referência, estimada pelo modelo de Penman-Monteith parametrizado no boletim FAO 56 (ALLEN et al., 1998) e o coeficiente da cultura (K_c). A ET_o foi calculada pelo método de Penman-Monteith, de acordo com a equação 1.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left(\frac{\gamma}{T+273}\right) u_2 (e_s - e)}{\Delta + [\gamma(1+0,34 u_2)]} \quad (1)$$

Em que, Δ é a inclinação da curva da pressão de vapor d'água saturado versus temperatura do ar (kPa °C⁻¹); R_n é o Saldo de radiação estimado (MJ m⁻² dia⁻¹); G é o fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); γ é o Coeficiente psicrométrico; T é a temperatura média do ar; u₂ é a velocidade média do vento a 2 m de altura (m s⁻¹); e_s é a pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa), “e” corresponde a pressão do vapor d'água do ar (kPa).

Nas estimativas de ET_c, o desenvolvimento da planta foi dividido em quatro fases fenológicas (inicial, crescimento, intermediário e final), constando no boletim os comprimentos médios desses estádios e os procedimentos detalhados para o cálculo de ET_c pelo K_c único. Os coeficientes da cultura para o milho tabelados no boletim FAO 56 (ALLEN et al., 1998) foram ajustados e interpolados pela abordagem apresentada no próprio boletim. No ajuste do K_c foram considerados os dados climáticos reais do período considerado e edáficos da área experimental escolhida. No caso de K_c para a fase inicial na simulação com irrigação, foi considerada ainda a frequência e a magnitude da irrigação. O balanço de água no solo foi baseado no modelo desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) para o balanço sequencial. Contudo, foi considerada a capacidade de água disponível (CAD, mm) no solo variável durante o crescimento da cultura em função da profundidade efetiva do sistema radicular (Z_{r,i}, m) (LYRA et al., 2010), conforme equação 2.

$$CAD_i = 1000 (\theta_{cc} - \theta_{pm}) Z_{r,i} \quad (2)$$

Em que, θ_{cc} e θ_{pm} (m³ m⁻³) são as umidades volumétricas do solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, respectivamente, e o termo subscrito “i” representa o dia “i”. Foram adotados os valores de θ_{cc} (0,3956 m³ m⁻³) e θ_{pm} (0,1892 m³ m⁻³), determinados pelo método padrão da câmara de pressão de Richards (FERNANDES et al., 2010).

A profundidade do sistema radicular no dia “i”, durante a fase de crescimento, foi interpolada em função da variação entre

as profundidades máxima e mínima, pela relação, de acordo com a equação 3.

$$Z_{r,i} = Z_{r,i-1} + [(Z_{r,x} - Z_{r,n}) / L_{cresc}] \quad (3)$$

Em que, $Z_{r,i-1}$ é a profundidade da raiz no dia anterior (m); $Z_{r,n}$ e $Z_{r,x}$ são, respectivamente, as profundidades mínima (0,1 m) e máxima (0,4 m) do sistema radicular; L_{cresc} é a duração da fase de crescimento (dias). Nas fases intermediária e final a profundidade da zona radicular será considerada constante e igual a $Z_{r,x}$.

O balanço de água de Thornthwaite e Mather (1955) foi calculado utilizando a equação 4.

$$ALT_i = (ARM_i - ARM_{i-1}) = (P_i + I_i) - ETR_i - EXC_i \quad (4)$$

Em que, ALT (mm) é a alteração no armazenamento da água do solo (ARM , mm); P (mm) é a precipitação pluvial; I (mm) é a irrigação; ETR (mm) é a evapotranspiração real da cultura e EXC (mm) é o excedente hídrico.

Foi estimado também o déficit hídrico (DEF , mm), definido pela equação 5.

$$DEF_i = ETC_{i-1} - ETR_i \quad (5)$$

No início das simulações o $ARM = CAD$, para ambos os regimes. No caso da simulação para tomada de decisão da irrigação, foi aplicada a lâmina apenas quando $ARM_i < AFD_i$, a lâmina de irrigação foi contabilizada como $I_i = CAD - ARM_{i-1}$ (LYRA et al., 2010), ou seja, irrigação plena, em que AFD ($p = CAD$) é a água facilmente disponível e p (0,5) é o fator de disponibilidade de água no solo. A AFD é o intervalo de umidade existente entre o ponto de umidade crítica (UC) e a capacidade de campo (limite da CAD). O ARM foi determinado de acordo com as equações 6 e 7, em que $NEG.ACUC$ (mm) é o negativo acumulado.

Quando $(P_i + I_i) - ETR_i < 0$, o $EXC_i = 0$ e a ETR_i foi determinada pela equação 4, caso contrário ETR_i , por definição, é igual a ETC_i e EXC_i será obtido pela Equação 4.

$$ARM_i = \begin{cases} CAD_i e^{(NEG.ACUC_i/CAD_i)}; & \text{para } (P_i + I_i) - ETR_i < 0 \\ ARM_{i-1} + (P_i + I_i - ETR_i); & \text{para } (P_i + I_i) - ETR_i \geq 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$NEG.ACUC_i = \begin{cases} NEG.ACUC_{i-1} - (P_i + I_i - ETR_i) & \text{para } (P_i + I_i) - ETR_i < 0 \\ CAD_i \ln\left(\frac{ARM_i}{CAD_i}\right); & \text{para } (P_i + I_i) - ETR_i \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

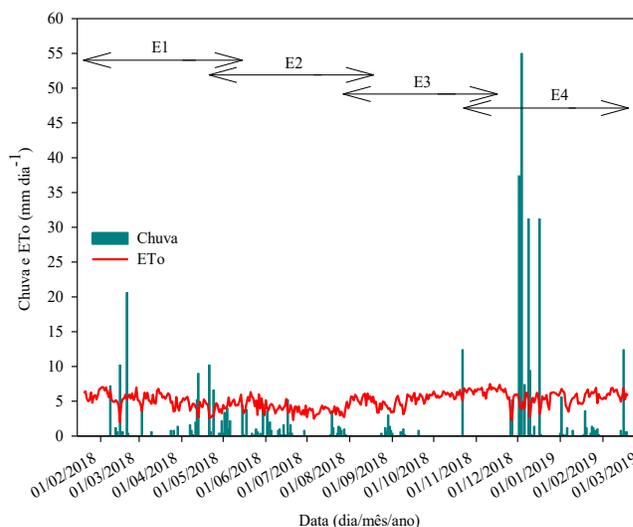
Para a plotagem das figuras apresentadas nos resultados, foram utilizados os programas Origin 6.0 e SigmaPlot 10.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Figura 1, a precipitação pluvial somou 107,8 mm na época verão-outono (janeiro-maio), 75,6 mm na época outono-inverno (abril-agosto), 26,6 mm na época inverno-primavera (julho-novembro) e 230 mm na época primavera-verão (outubro-fevereiro). A época outono-inverno corresponde ao período chuvoso da região e, apesar da baixa precipitação pluvial para o período, apresentou boa distribuição dos eventos de chuva quando comparada às demais épocas, como por

exemplo, à época 4, quando 24% (55 mm) de toda a chuva do período ocorreram em um único dia (04/12/2018).

Figura 1. Valores diários de chuva e evapotranspiração de referência (ET_0) durante cultivo de milho em regime sequeiro e irrigado em quatro épocas: verão-outono (E1), outono-inverno (E2), inverno-primavera (E3) e primavera-verão (E4) no município de Piranhas, região semiárida de Alagoas.



A demanda hídrica atmosférica, representada pela evapotranspiração de referência (ET_0), apresentou significativas variações entre as épocas de cultivo (Figura 1). Para a época verão-outono, variou de 2 a 7,1 mm dia⁻¹, com média de 5 mm dia⁻¹. Durante a época outono-inverno, a variação esteve entre 2,3 e 6,3 mm dia⁻¹, média de 4,2 mm dia⁻¹. Na época inverno-primavera, oscilou entre 2,7 a 7,5 mm dia⁻¹, média de 5,5 mm dia⁻¹. Para a época primavera-verão, a variação foi de 2,2 a 7,5 mm dia⁻¹, média de 5,8 mm dia⁻¹. Observam-se valores menores de ET_0 no período em que há ocorrência de chuvas (época outono-inverno), quando há alta nebulosidade e diminuição da intensidade da radiação solar, do aquecimento da atmosfera e, conseqüentemente, da demanda hídrica atmosférica (SILVA, 2015). Nesse período, os eventos de precipitação foram mais bem distribuídos tanto em intervalos, quanto em intensidade.

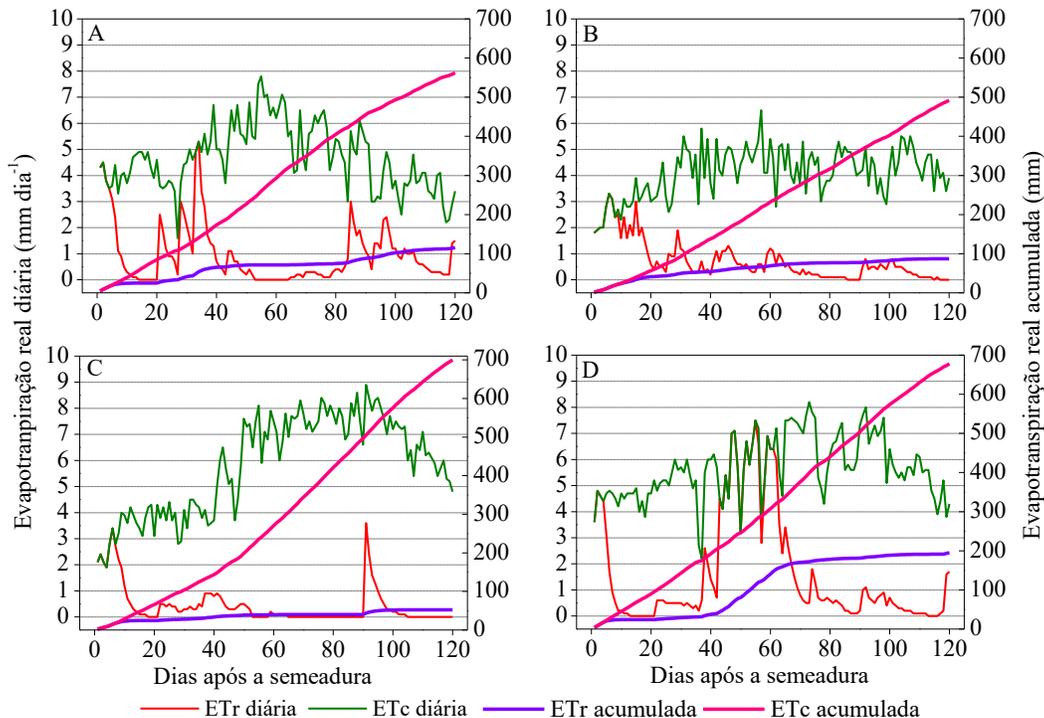
A evapotranspiração real da cultura (ET_r) é a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições reais de fatores atmosféricos e umidade do solo (MATZENAUER et al., 2003). Já a evapotranspiração da cultura (ET_c) sofre influência, além das variáveis meteorológicas e do solo, das características intrínsecas a cada cultura, como o tipo de metabolismo e tamanho das folhas, variando, ainda, de acordo com as fases fenológicas da planta (SOUZA et al., 2015). A ET_c é ajustada em função do coeficiente único da cultura (K_c) e representa a demanda hídrica da cultura em função de suas características e das condições climáticas da região onde o cultivo está inserido. Em condições de irrigação, assume-se que não há déficit hídrico, uma vez que a demanda hídrica da cultura é suprida, ou seja, não há estresse para as plantas e, assim, igual à ET_c . Nesse sentido, em regime irrigado, a ET_r e a ET_c são equivalentes.

A ET_c oscilou de 0,9 a 7,8 mm dia⁻¹, com média 4,6 mm dia⁻¹; 0,3 a 6,5 mm dia⁻¹, média de 3,8 mm dia⁻¹; 0,3 a 8,9 mm dia⁻¹, média de 5,4 mm dia⁻¹; 0,5 a 8,2 mm dia⁻¹, média de 7,6 mm dia⁻¹, totalizando 551, 457, 650 e 633 mm, para as épocas verão-outono (Figura 2A), outono-inverno (Figura 2B), inverno-primavera (Figura 2C) e primavera-verão (Figura 2D), respectivamente. Esses resultados corroboram com Cordeiro (2019) que encontrou resultados semelhantes avaliando o balanço hídrico móvel para a cultura do milho nas regiões de

Inhapi, Delmiro Gouveia e Pariconha, semiárido alagoano, em diferentes épocas de plantio.

No regime de sequeiro, a ETr variou de 0 a 5,3 mm dia⁻¹, média de 1 mm dia⁻¹; 0 a 3,3 mm dia⁻¹, média de 0,7 mm dia⁻¹; 0 a 3,6 mm dia⁻¹, média de 0,4 mm dia⁻¹; 0 a 7,1 mm dia⁻¹, média de 1,6 mm dia⁻¹, somando 117, 87, 53 e 196 mm, para as épocas verão-outono (Figura 2A), outono-inverno (Figura 2B), Inverno-primavera (Figura 2C) e primavera-verão (Figura 2D), respectivamente.

Figura 2. Evapotranspiração real (ETr) e da cultura (ET_c) diária e acumulada para cultivo de milho em regime irrigado e de sequeiro em quatro épocas: (A) verão-outono (20/01 a 20/05/2018), (B) outono-inverno (21/04 a 19/08/2018), (C) inverno-primavera (25/07 a 22/11/2018) e (D) primavera-verão (22/10/2018 a 19/02/2019) no município de Piranhas, região semiárida de Alagoas.



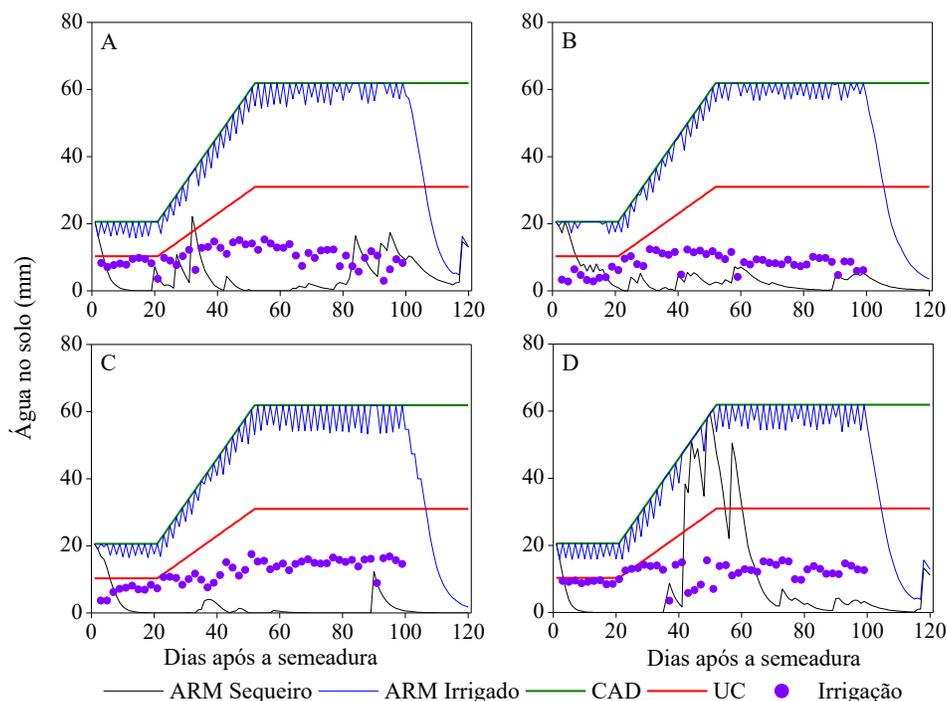
Os baixos valores de ETr são resultantes do baixo armazenamento de água no solo que, por sua vez, é resultante da baixa disponibilidade e distribuição irregular das chuvas, características da região (SILVA et al., 2014). A baixa oferta de água pluvial, somada às altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, contribui diretamente para o déficit hídrico no solo e, conseqüentemente, prejudica os cultivos que dependem exclusivamente das chuvas para atender sua necessidade hídrica (NOBRE et al., 2017; CORDEIRO, 2019; LIMA et al., 2020).

O balanço de água no solo (estimativa da umidade do solo em função das entradas e saídas de água) apresentado na Figura 3, mostra que para condições de irrigação, o armazenamento de água no solo (ARM) permaneceu próximo à capacidade de campo (limite máximo igual à CAD), durante todo o ciclo da cultura, nas quatro épocas de avaliação. Isso ocorre porque a irrigação é feita de forma plena, em que as lâminas aplicadas são calculadas em função das entradas e saídas de água do solo, ou seja, os ganhos pela precipitação pluvial e da lâmina anterior; e as perdas por evapotranspiração, evitando assim a ocorrência de

estresse hídrico nas plantas (SOUZA et al., 2015). Ao final do ciclo de cultivo em todas as épocas (simulação de duração para o estágio R4 - Grão farináceo), houve redução no ARM devido à suspensão da irrigação, uma vez que a partir desse momento a produtividade não sofre mais influência por déficit hídrico (SILVA, 2015).

Em regime de sequeiro, durante as quatro épocas, no início do ciclo de cultivo, o armazenamento de água no solo esteve próximo à capacidade de campo, no entanto, com o passar dos dias, ainda na fase inicial, o ARM decaiu para próximo da umidade crítica (UC) e continuou reduzindo até atingir o intervalo entre a UC e o ponto de murcha permanente (PMP), que compreende a água indisponível para a absorção pela planta. Eventualmente algumas chuvas promoveram o aumento do ARM, nas épocas 1 (Figura 3A) e 4 (Figura 3D), elevando-os para a zona da água facilmente disponível (AFD), que é o intervalo entre a CAD e UC (LYRA et al., 2010; ROCHA et al., 2014; CORDEIRO, 2019).

Figura 3. Valores diários da capacidade de água disponível (CAD), umidade crítica (UC) e armazenamento de água no solo (ARM) para cultivo de milho em regime irrigado e de sequeiro em quatro épocas: (A) verão-outono, (B) outono-inverno, (C) inverno-primavera e (D) primavera-verão, no município de Piranhas, região semiárida de Alagoas.



O baixo armazenamento de água no solo ocorre pelo regime de cultivo (sequeiro), em que toda demanda hídrica da cultura durante seu ciclo é exclusivamente atendida pela chuva. A região de estudo está localizada no semiárido alagoano, tendo como características climáticas elevadas temperaturas (média anual de 27 °C), baixa nebulosidade, precipitação anual inferior a 500 mm e chuvas mal distribuídas ao longo do ano (SOUSA et al., 2010; BARROS et al., 2012). Nesse sentido, mesmo durante a época chuvosa da região (Figura 3B), onde as chuvas são mais bem distribuídas, a precipitação não conseguiu suprir a demanda hídrica da cultura, que passa por prolongados períodos de estresse. Na época 4 (Figura 3D) que compreende primavera-verão, ocorreu as chamadas chuvas de verão, caracterizadas pela alta intensidade e irregular distribuição temporal dos eventos de precipitação, que apesar de elevar o ARM para a capacidade de água disponível, em virtude de sua distribuição irregular, não supriu a demanda hídrica do ciclo da cultura. Em ambos os casos, o baixo armazenamento de água no solo, na prática, compromete não somente a produtividade, mas também a conclusão do ciclo da cultura do milho. Pois, a falta de suprimento hídrico prolongado reduz a umidade no solo ao ponto de murcha permanente, fazendo a planta entrar em processo de desidratação e, conseqüentemente, em senescência. Nobre et al. (2017), simulando a produtividade do milho em diferentes mesorregiões do estado de Alagoas em função do déficit hídrico e da época de plantio, verificaram que a perda de produtividade média do milho cultivado em condições de sequeiro no estado é da ordem de 53% em Água Branca e 78% em Pão de Açúcar (municípios situados no semiárido alagoano), onde as perdas estão diretamente atreladas a oferta hídrica e as condições climatológicas locais.

Dependendo do período de tempo no qual a planta for submetida a esta condição, o dano é irreparável e o ciclo de desenvolvimento é irrecuperável, mesmo se a umidade no solo voltar aos limites satisfatórios (SANTOS; CARLESSO, 1998; COELHO et al., 2014). Assim, é essencial estar atento às condições agrometeorológicas e realizar a escolha da época de cultivo com bastante cuidado, o que, a depender da região, acarretará em uso obrigatório de irrigação plena ou complementar.

CONCLUSÕES

Na região semiárida de Alagoas, a demanda hídrica da cultura do milho é de aproximadamente 551, 457, 650 e 633 mm para cultivos de janeiro-maio, abril-agosto, julho-novembro e outubro-fevereiro, respectivamente, em que apenas a precipitação pluvial não é suficiente para suprir esta demanda, sendo necessário fazer uso da irrigação.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas (IFAL), Campus Piranhas, pelo financiamento e espaço cedido para a realização da pesquisa e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilização dos dados meteorológicos utilizados na pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. A.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements. Roma: FAO, 1998. 328p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

- ANJOS, F. A.; AZEVEDO, C. A. V.; FERRAZ, R. L. S.; SOUZA, J. L.; LIMA, V. L. A.; CAVALCANTE JÚNIOR, C. A. Production components and water use efficiency of corn under irrigation depths. *Australian Journal of Crop Science*, 11(12):1609-1616, 2017. [10.21475/ajcs.17.11.12.pnc795](https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.12.pnc795).
- BARROS, A. H. C.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SILVA, A. B.; SANTIAGO, G. A. C. F. Climatologia do estado de Alagoas. Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2012.
- CARVALHO, A. L.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; SILVA, E. C. Estação chuvosa e de cultivo para a região de Rio Largo, Alagoas baseada em métodos diretos e sua relação com o El Niño – Oscilação Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28(2):192-198, 2013. [10.1590/S0102-77862013000200008](https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000200008).
- COELHO, J.; BARROS, M. D. F.; BEZERRA NETO, E.; SOUZA, E. R. D. Ponto de murcha permanente fisiológico e potencial osmótico de feijão caupi cultivado em solos salinizados. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(7): 708-713, 2014. [10.1590/S1415-43662014000700006](https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000700006).
- CORDEIRO, C. J. S. Balanço de água no solo para o milho no semiárido alagoano. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2019, 23p.
- FERNANDES, L. A. C.; RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B.; FERREIRA, R. F. A. L. Caracterização e classificação de solos de uma litoposseqüência do Projeto Xingó-SE. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 5(2):192-201, 2010.
- LIMA, C. I. S.; SILVA, F. D. D. S.; FREITAS, I. G. F. D.; PINTO, D. D. C.; COSTA, R. L.; GOMES, H. B.; SILVA, E. H. L.; SILVA, L. L.; SILVA, V. P. R.; SILVA, B. K. D. N. Método alternativo de zoneamento agroclimático do milho para o estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 35(Especial):1057-1067, 2020. [10.1590/0102-778635500113](https://doi.org/10.1590/0102-778635500113).
- 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*, 28(4):22-25, 2010.
- MAGALHÃES, I. D.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; ROCHA, A. E. Q.; CAVALCANTE JÚNIOR, C. A.; LYRA, G. B.; FERREIRA JUNIOR, R. A.; CARVALHO, A. L.; FERRAZ, R. L.; S. Performance of the Aquacrop model for bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under irrigation condition. *Australian Journal of Crop Science*, 13(7):1188-1196, 2019. [10.21475/ajcs.19.13.07.p1790](https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.07.p1790).
- MATZENAUER, R.; BARNI, N. A.; MALUF, J. R. T. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, 33(6):1013-1019, 2003.
- MOURA, V. B. Reflectometria no domínio do tempo, evapotranspiração e fatores de resposta do feijão-caupi submetido a distintas lâminas de irrigação no nordeste paraense. Dissertação, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019, 26p.
- NOBRE, J. P. G.; ALMEIDA, H. C.; RIBEIRO, L. E.; SANTOS, F. D.; SILVA, R. L. C. Estimativa da produtividade do milho nas diferentes mesorregiões do Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(4):1100-1109, 2017. [10.26848/rbgf.v10.4.p1100-1109](https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.4.p1100-1109).
- PEREIRA, P. D. C.; SILVA, T. G. F. D.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S. E.; SILVA, M. J. D. Balanço de água no solo cultivado com clones de palma forrageira sob irrigação. *Revista Caatinga*, 30(3):776-785, 2017. [10.1590/1983-21252017v30n326rc](https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n326rc).
- ROCHA, A. E. Q.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; MEDEIROS, R. P.; TEODORO, I. Conteúdo de água no solo por reflectometria no domínio do tempo e balanço de água no solo em cultivo de milho. *Irriga*, 19(2):267-278, 2014. [10.15809/irriga.2014v19n2p267](https://doi.org/10.15809/irriga.2014v19n2p267).
- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2(3):287-294, 1998.
- SILVA, M. D. A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. D. L.; GAVA, G. J.; KOLLN, O. T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(3):241-249, 2014. [10.1590/S1415-43662014000300001](https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000300001).
- SILVA, S. Evapotranspiração e análise econômica de irrigação em cana-de-açúcar. Dissertação, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015, 37p.
- SILVA, S.; DANTAS NETO, J.; TEODORO, I.; SOUZA, J. L. D.; LYRA, G. B.; SANTOS, M. A. Demanda hídrica da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento nos tabuleiros costeiros de Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(9):849-856, 2015. [10.1590/1807-1929/agriambi.v19n9p849-856](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n9p849-856).
- SOUZA, I. F.; SILVA, V. P. R.; SABINO, F. G.; Aguiar Netto, A. O.; Silva, B. K. N.; Azevedo, P. V. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(6):633-644, 2010. [10.1590/S1415-43662010000600010](https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000600010).
- SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B. D.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. D. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exclusivo e consorciado. *Revista Caatinga*, 28(4):151-160, 2015. [10.1590/1983-21252015v28n417rc](https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n417rc).
- TEIXEIRA, C. F. A.; MORAES, S. O.; SIMONETE, M. A. Desempenho do tensiômetro, TDR e sonda de nêutrons na determinação da umidade e condutividade hidráulica do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29(2):161-168, 2005.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 8(1):104, 1955.