

# Armazenamento de água em Plintossolo Argilúvico cultivado com cana-de-açúcar sob níveis de palhada

João Carlos Rocha dos Anjos<sup>(1)</sup>, Aderson Soares de Andrade Júnior<sup>(2)</sup>, Edson Alves Bastos<sup>(2)</sup>, Donavan Holanda Noletto<sup>(3)</sup>, Francisco de Brito Melo<sup>(2)</sup> e Raimundo Rodrigues de Brito<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup>Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Professora Cinobelina Elvas, Rodovia Municipal Bom Jesus-Viana, Km 01, Planalto Horizonte, CEP 64900-000 Bom Jesus, PI, Brasil. E-mail: [agrojoaocarlos@gmail.com](mailto:agrojoaocarlos@gmail.com) <sup>(2)</sup>Embrapa Meio-Norte, Avenida Duque de Caxias, nº 5.650, CEP 64006-220 Teresina, PI, Brasil. E-mail: [aderson.andrade@embrapa.br](mailto:aderson.andrade@embrapa.br), [edson.bastos@embrapa.br](mailto:edson.bastos@embrapa.br), [francisco.brito@embrapa.br](mailto:francisco.brito@embrapa.br) <sup>(3)</sup>Companhia Nacional de Abastecimento, Superintendência Regional do Maranhão, Rua dos Sabiás nº 04, Quadra 05, Lotes 04 e 05, Jardim Renascença, CEP 65075-360 São Luís, MA, Brasil. E-mail: [donavan.noletto@conab.gov.br](mailto:donavan.noletto@conab.gov.br) <sup>(4)</sup>UFPI, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, s/nº, Ininga, CEP 64049-550 Teresina, PI, Brasil. E-mail: [raimundope10@yahoo.com.br](mailto:raimundope10@yahoo.com.br)

**Resumo** – O objetivo deste trabalho foi avaliar o armazenamento de água em um Plintossolo Argilúvico sob diferentes níveis de palhada durante o ciclo de quarta soca da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). O estudo foi conduzido na safra 2013/2014, com a cultivar SP-813250, em duas profundidades (0,0–0,3 e 0,3–0,6 m), em delineamento de blocos ao acaso, com cinco níveis de palhada (0,0, 4,2, 9,5, 13,0, e 18,4 Mg ha<sup>-1</sup>) e quatro repetições. A umidade do solo foi monitorada com reflectômetro de domínio de tempo. A palhada proporcionou ganho de até 20 Mg ha<sup>-1</sup> de colmos e manteve o solo com maior armazenamento de água do que o sem palhada, em todos os períodos avaliados. A manutenção de até 50% (9,5 Mg ha<sup>-1</sup>) de palhada de cana-de-açúcar sobre a superfície do solo promove melhor conservação de água no solo por Mg de palha adicionada e retarda em até 11 dias o alcance do armazenamento crítico de água no solo, em comparação ao solo sem cobertura de palha.

Termos para indexação: *Saccharum officinarum*, balanço hídrico, cobertura do solo, plantio direto.

## Water storage in a Plinthaqualf cultivated with sugarcane under straw levels

**Abstract** – The objective of this work was to evaluate water storage in a Plinthaqualf under different straw levels during the fourth ratoon season of a sugarcane (*Saccharum officinarum*) crop. The study was conducted in the 2013/2014 growing season, with the cultivar SP-813250, at two soil depths (0.0–0.3 and 0.3–0.6 m), in a randomized complete block design, with five straw levels (0.0, 4.2, 9.5, 13.0, and 18.4 Mg ha<sup>-1</sup>) and four replicates. Soil moisture content was monitored with a time-domain reflectometer. The straw provided gains of up to 20 Mg ha<sup>-1</sup> stems and kept increased water storage in the soil, in comparison with the soil without straw in all evaluated periods. Maintenance of up to 50% (9.5 Mg ha<sup>-1</sup>) of sugarcane straw on soil surface promotes better water retention in the soil per Mg of straw added and delays the reach of critical water storage in the soil by up to 11 days, when compared with soil without straw cover.

Index terms: *Saccharum officinarum*, water balance, soil mulch, no-tillage.

### Introdução

O sistema plantio direto, que tem como princípio a manutenção da cobertura do solo com restos culturais, apresenta efeitos positivos, proporcionados pela cobertura com palhada, na redução da perda de água por evaporação, no armazenamento de água no solo e no conteúdo de matéria orgânica (Galdos et al., 2009; Santana et al., 2011). A água mantida no solo por mais tempo favorece o crescimento e o desenvolvimento das culturas agrícolas, principalmente das de ciclo semiperene como a cana-de-açúcar (*Saccharum*

*officinarum* L.), que está sujeita a períodos de deficiência hídrica durante seu ciclo de cultivo.

A quantidade de palhada oriunda da colheita da cana-de-açúcar sem queima é estimada em 10 a 30 Mg ha<sup>-1</sup>, o que pode variar de acordo com a variedade de cana e a idade do canavial (Christoffoleti et al., 2007). Parte dessa palhada tem sido usada pelas usinas sucroalcooleiras, para fins como a produção de eletricidade, o aquecimento das caldeiras e a produção de álcool de segunda geração. Porém, a palhada mantida na superfície do solo tem funções primordiais no sistema de cultivo da cana-de-açúcar sem queima,

relacionada, por exemplo, à dinâmica da água no solo (Peres et al., 2010), à matéria orgânica do solo (Souza et al., 2005), à dinâmica do sistema radicular (Aquino et al., 2015), à biometria e à fisiologia das plantas (Aquino & Medina, 2014), e à produtividade de colmos e à qualidade do caldo (Souza et al., 2005). Assim, é necessário saber a proporção de palhada que deve ser removida do campo para fins energéticos, sem afetar a sustentabilidade do solo em longo prazo.

Há estudos sobre a dinâmica da água no solo em resposta à manutenção de diferentes níveis de palhada sobre sua superfície, realizados com as culturas de feijão comum (Chieppe Júnior et al., 2007; Pereira et al., 2015), milho, milheto e soja (Silva et al., 2006). No caso específico da cana-de-açúcar, destacam-se os trabalhos de Timm et al. (2002) e Peres et al. (2010), conduzidos em solos de textura argilosa, como Latossolo Vermelho-Escuro e Terra Roxa Estruturada. No entanto, não são conhecidos estudos com essa finalidade em cana-de-açúcar, sobretudo nas áreas de cultivo em solos de textura média-arenosa, típicos das regiões de expansão da cultura no Nordeste, especialmente no Estado do Piauí.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o armazenamento de água em um Plintossolo Argilúvico sob diferentes níveis de palhada durante o ciclo de quarta soca da cana-de-açúcar.

### Material e Métodos

O experimento foi conduzido na usina Comvap Açúcar e Álcool Ltda. (04°35'09"S, 42°51'51"W, a 52 m de altitude), na microrregião de Teresina, PI, no período de julho de 2013 a julho de 2014. De acordo com a classificação de Thornthwaite & Mather (1957), o clima da região é C1sA'a', caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão e chuva média histórica anual de 1.343 mm. O solo é classificado como Plintossolo Argilúvico (Santos et al., 2006). As seguintes características físico-hídricas e químicas foram observadas na camada de 0,0–0,3 m: 778 g kg<sup>-1</sup> de areia; 131 g kg<sup>-1</sup> de silte; 91 g kg<sup>-1</sup> de argila; capacidade de campo (CC) de 24% em volume; ponto de murcha permanente (PMP) de 4% em volume; densidade do solo (Ds) de 1,5 Mg m<sup>-3</sup>; classe textural, areia franca; 7,6 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica (MO); percentagem de saturação por bases (V) de 55,4%; capacidade de troca de cátion (CTC) de 6,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; e acidez potencial (H+Al) de 2,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Na camada de 0,3–0,6 m: 709 g kg<sup>-1</sup> de areia; 137 g kg<sup>-1</sup> de silte;

154 g kg<sup>-1</sup> de argila; 25% em volume de CC; 5% em volume de PMP; Ds de 1,48 Mg m<sup>-3</sup>; classe textural franco arenoso; 3,4 g kg<sup>-1</sup> de MO; V de 42,3%; CTC de 4,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; e 3,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H+Al.

Os tratamentos consistiram de cinco níveis de palhada de cana-de-açúcar, cultivar SP-813250, ciclo de quarta soca, produzidos na própria área de estudo e distribuídos sobre a superfície do solo nas proporções de 0, 25, 50, 75 e 100% da produção total de palhada, o que correspondeu aos seguintes níveis de cobertura do solo: 0,0, 4,2, 9,5, 13,0 e 18,4 Mg ha<sup>-1</sup> de palhada seca, respectivamente. Nos três ciclos de cultivo anteriores, nas parcelas, foram mantidas, na superfície do solo, as mesmas proporções de palhada, cujas quantidades variaram em função da produção total de palha. A palhada não triturada foi distribuída na superfície do solo em camadas sucessivas, de modo a conter toda a massa de palha prevista para o tratamento. As parcelas experimentais tiveram as dimensões de 10 m de largura por 15 m de comprimento. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, com cinco tratamentos e quatro repetições. As medidas da variação do armazenamento de água no solo foram efetuadas em duas profundidades, nas camadas 0,0–0,3 e 0,3–0,6 m. A cana-de-açúcar foi plantada em espaçamento de 1,4 m entre fileiras, com 15 gemas por metro linear.

O monitoramento do conteúdo de água no solo foi efetuado pela técnica de reflectometria no domínio do tempo, com equipamento modelo TDR100 (Campbell Scientific Brasil, São Paulo, SP) composto por 40 sondas de 0,3 m de comprimento, interligadas por cabos coaxiais de 50Ω, sete multiplexadores SDMX50 e um datalogger CR10X. As sondas foram instaladas nas camadas de 0,0–0,3 e 0,3–0,6 m, a cerca de 0,2 m da fileira central das plantas de cada parcela. Para a instalação da sonda mais profunda, foi necessária a escavação do solo até a profundidade de 0,3 m, o que permitiu manter a estrutura e a densidade original da camada. Os registros de umidade do solo ocorreram a cada 30 min. Os valores de umidade, na escala diária, foram obtidos pela média dos 48 registros de cada dia.

Para a calibração do TDR100 na área experimental, foram obtidas as medidas de umidade do solo em cada profundidade estudada, tendo-se coletado três amostras semanalmente em cada ponto, com quatro repetições. Utilizou-se a equação de Ledieu et al. (1986), a partir da qual se obteve a constante dielétrica (K<sub>a</sub>), que foi correlacionada à umidade padrão (θ) (estufa) – θ versus K<sub>a</sub> –, tendo resultado nas seguintes equações ajustadas

para as camadas de 0,0–0,3 e 0,3–0,6 m, respectivamente:  $\theta = -0,1996 + 0,1188 (Ka)^{0,5}$  e  $\theta = -0,1936 + 0,1176 (Ka)^{0,5}$ .

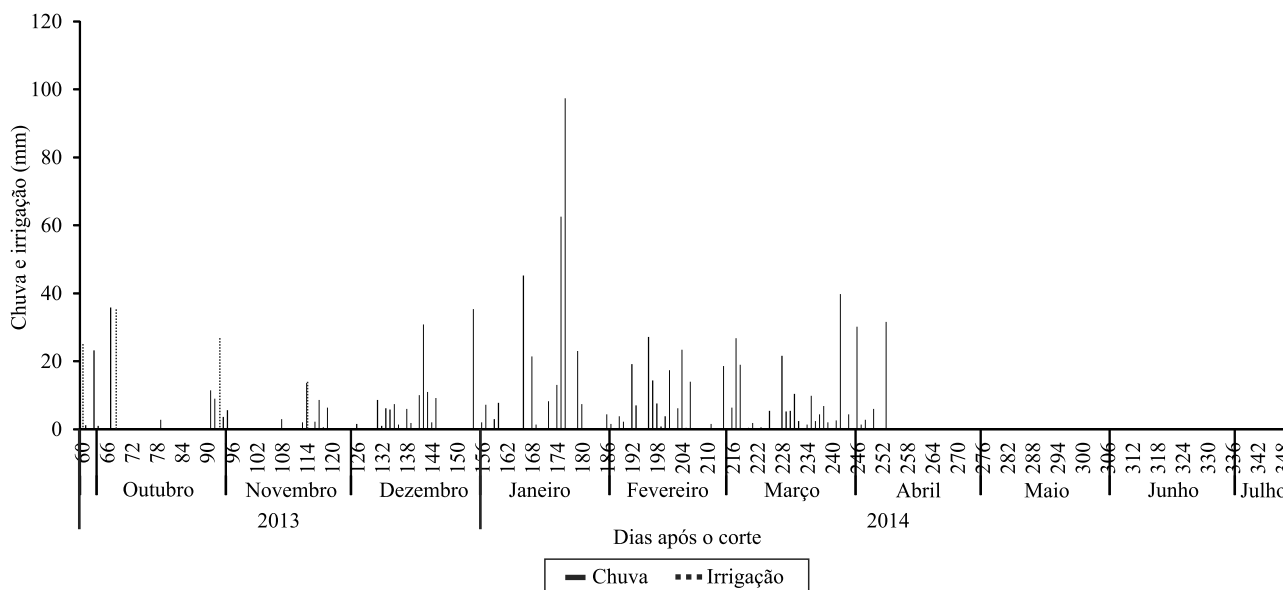
Calculou-se o armazenamento diário de água no solo (AS) por meio da multiplicação do conteúdo volumétrico diário de água ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) pela espessura de cada camada do perfil do solo avaliada (300 mm). O limite superior ( $CC = 25\%$  em volume) e o inferior ( $PMP = 5\%$  em volume) de disponibilidade de água no solo da área experimental equivalentes aos pontos de tensão, de -10 e -1.500 kPa, respectivamente, foram determinados em laboratório com o método membrana de Richards. Para a determinação do armazenamento crítico de água no solo (AC) para a cana-de-açúcar, adotou-se a fração  $p$  igual a 0,5, conforme recomendado pelo Manual FAO-56 (Allen et al., 1998).

Apesar do monitoramento contínuo do armazenamento de água no solo, optou-se por avaliar períodos específicos, notadamente entre eventos de chuva e/ou irrigação, durante o ciclo de cultivo. Os períodos avaliados foram os seguintes: 1, dos 107 aos 129 dias após o corte da cana-soca (DAC), que é o estágio de perfilhamento; 2, dos 132 aos 150 DAC, a fase de crescimento rápido; 3, dos 310 aos 332 DAC, a fase final de crescimento e o início de maturação; e 4, dos 335 aos 361 DAC, a fase de maturação. Usou-se o programa TableCurve (Systat Software Inc., Chicago, IL, EUA) para ajuste das curvas de armazenamento diário de água no solo, em função da evapotranspiração acumulada da cultura ( $ET_{\text{cac}}$ ) em cada período avaliado. Usou-se a

$ET_{\text{cac}}$  em vez de o tempo de cada período de secagem (em dias) como forma de incluir o efeito da extração de água pela cultura, pois avaliaram-se distintas fases de desenvolvimento da cultura. Os valores de  $ET_{\text{c}}$  diários foram obtidos com a multiplicação dos valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) diários pelos valores do coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), em cada período de desenvolvimento avaliado, obtidos do Manual FAO-56 (Allen et al., 1998).

Para avaliar a contribuição da palhada sobre o AS, dividiu-se a variação do AS ( $\Delta AS$ , em mm) em cada período de avaliação pela respectiva massa de palhada adicionada à superfície do solo ( $M_g$ ). O termo  $\Delta AS$  foi obtido pela equação:  $\Delta AS (\text{mm } M_g^{-1}) = AS_i - AS_f$ , em que  $AS_i$  é o AS no início do período de avaliação (mm) e  $AS_f$  é o AS no final do período de avaliação (mm).

O monitoramento meteorológico foi realizado por meio de uma estação agrometeorológica automática, distante cerca de 500 m da área experimental, na qual foram coletados os dados meteorológicos utilizados para estimativa da  $ET_0$  diária pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998). Obteve-se a precipitação pluvial e a lâmina de irrigação foi aplicada via sistema de irrigação por aspersão, durante o período de estabelecimento da cultura (Figura 1). A usina Comvap Açúcar e Alcool Ltda. utiliza a modalidade de irrigação de salvação, que consiste na aplicação de lâminas de irrigação de 30 mm a cada 15 dias, desde a rebrota até o pleno desenvolvimento vegetativo.



**Figura 1.** Precipitação e irrigação registradas durante o ciclo de quarta soca de cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) de quarta soca, no período de outubro de 2013 a julho de 2014.

Utilizou-se o índice de área foliar (IAF) como indicador da variação do desenvolvimento da cana-de-açúcar em resposta aos níveis de armazenamento de água no solo. Quantificou-se o IAF mensalmente, no período entre 107 e 361 DAC, com base na área foliar (AF) das plantas, dividida pela área ocupada por um metro linear da cultura ( $1,4 \text{ m}^2$ ). Para o cálculo da AF, seguiu-se o método descrito por Hermann & Câmara (1999), tendo-se contado o número de folhas verdes e medido o comprimento e a largura da folha 3+, com auxílio de fita métrica e régua, de acordo com o sistema de numeração de folhas de Kuijper (Dillewijn, 1952). A produtividade de colmos, medida em tonelada de colmo por hectare (TCH), foi obtida por meio de pesagem dos colmos e da divisão do valor pela área da parcela, tendo-se extrapolado o resultado para a área de 1 ha, que foi expresso em  $\text{Mg ha}^{-1}$ . Os dados de IAF e TCH foram submetidos à análise de variância, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, com o programa computacional Assstat (Silva, 2013).

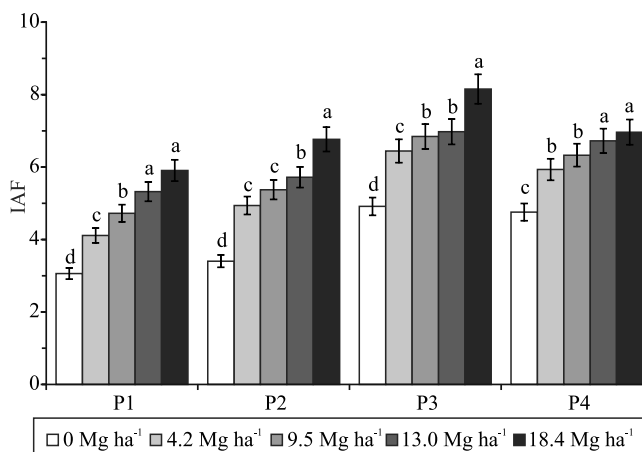
## Resultados e Discussão

A palhada influenciou significativamente o IAF em todos os períodos avaliados. Os maiores valores de IAF foram obtidos com a aplicação de  $18 \text{ Mg ha}^{-1}$  do palhada no solo, em comparação ao solo descoberto, no qual ocorreram os menores valores (Figura 2). As diferenças no desenvolvimento da cultura, medidas como IAF, decorreram da variação do armazenamento de água no solo promovida pela redução da perda de água por evaporação em cada nível de palhada (Farias et al., 2008). O IAF tem influência direta na dinâmica da umidade do solo, quer seja pelo efeito direto do sombreamento do solo entre as fileiras das plantas, ou mesmo pela maior ou pela menor extração de água do solo para atender à necessidade hídrica das plantas (Ritchie & Basso, 2008). A cobertura do solo com palhada proporciona melhor aproveitamento da água e auxilia na relação solo-água-planta-atmosfera, por diminuir a temperatura e a evaporação da água e aumentar a permanência da umidade no perfil do solo (Pereira et al., 2015).

Não houve diferença significativa no IAF entre os níveis de 4,2 e  $9,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  de palhada nos períodos 2 e 4, o que é indicativo de que pequenas quantidades de palha mantidas sobre o solo promovem o desenvolvimento da cana-de-açúcar. O IAF não responde de modo linear ao aumento de nível de cobertura do solo e, por

isso, não altera, na mesma proporção, a dinâmica da umidade do solo e a produtividade de colmos de cana-de-açúcar. Aquino & Medina (2014) associaram o aumento do IAF ao acréscimo do armazenamento de água no solo, proporcionado pela presença de palhada. Tavares et al. (2010) observaram correlação positiva entre o IAF e a produtividade de colmos, e associaram o ganho de produtividade à redução da perda de água do solo, proporcionada pela manutenção de palhada na superfície. Peres et al. (2010) relataram que a presença de palha da cana-de-açúcar na superfície do solo reduziu as perdas de água praticamente à metade daquela verificada na condição de solo descoberto.

Em todos os períodos avaliados, os valores do AS no tratamento sem cobertura com palhada foram inferiores aos do AS com palhada (Figura 3), como consequência das maiores perdas de água por evaporação direta nesse tratamento e do menor sombreamento das entrelinhas de plantio, o que foi evidenciado pelos reduzidos valores do IAF nessa fase de desenvolvimento da cultura (Figura 2). Dada a proximidade das linhas de tendência do AS, nos tratamentos com 9,5, 13,0 e  $18,4 \text{ Mg ha}^{-1}$



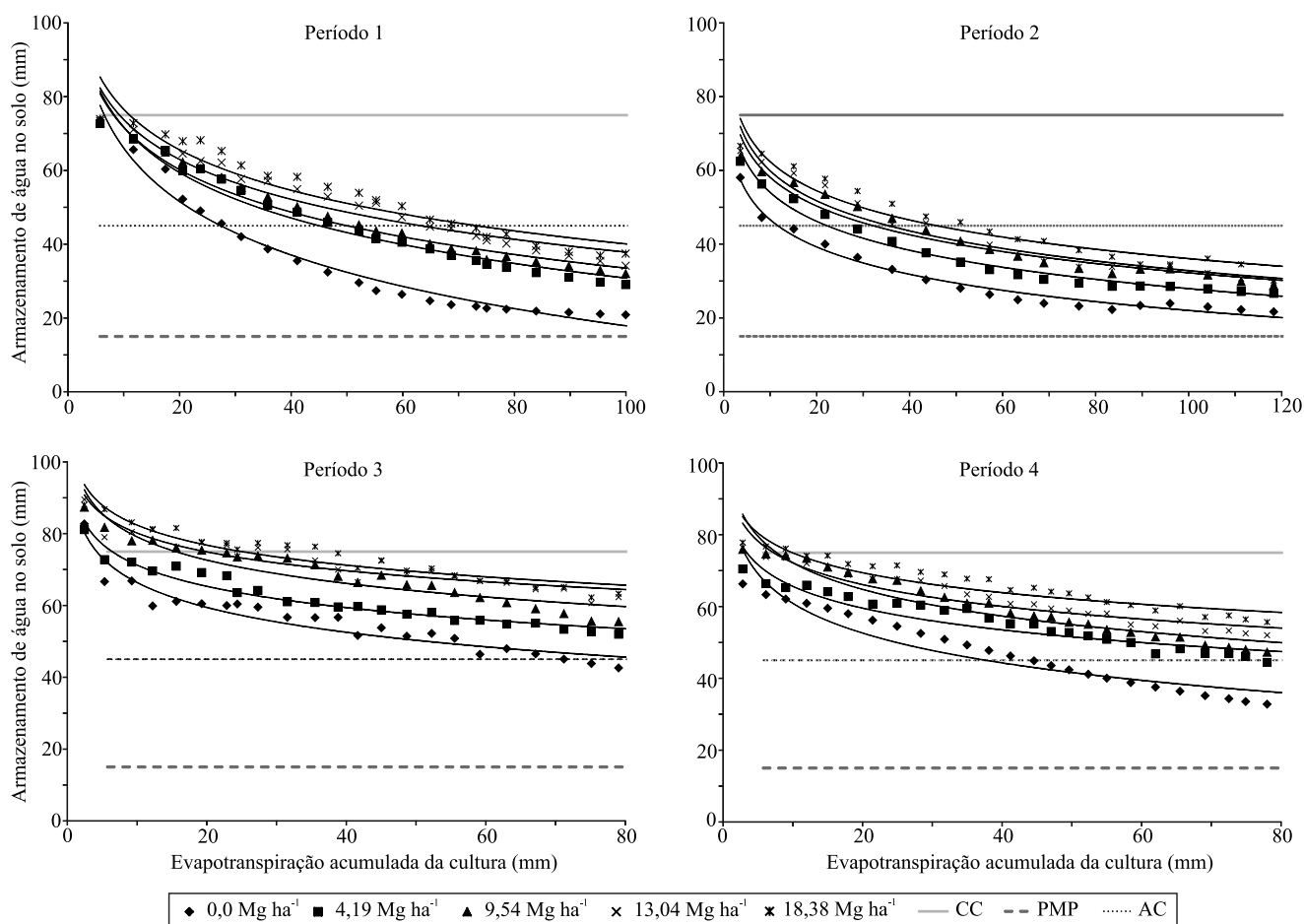
**Figura 2.** Índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) cultivada em Plintossolo Argilúvico coberto com diferentes níveis de palhada, nos quatro períodos de avaliação (P1 a P4) ao longo do seu ciclo de cultivo, em julho de 2013 a julho de 2014. Letras iguais, sobre as barras, em cada período (P1 a P4), não diferem, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. P1, dos 107 aos 129 dias após o corte da cana soca (DAC), isto é, estágio de perfilhamento; P2, dos 132 aos 150 DAC, fase de crescimento rápido; P3, dos 310 aos 332 DAC, fase final de crescimento e início de maturação; e P4, dos 335 aos 361 DAC, fase de maturação.

<sup>1</sup>, houve pequena variação no AS, especialmente nos três primeiros períodos de avaliação, que coincidiram com as fases de maior demanda hídrica, em que ocorre maior extração de água do solo pelas raízes (Allen et al., 1998).

O nível de cobertura que possibilitou a menor  $\Delta AS$  por Mg de palhada adicionada sobre o solo foi o de 18,4 Mg ha<sup>-1</sup> (média de 1,7 mm Mg<sup>-1</sup>), sem, contudo, diferir muito dos níveis de 13,0 (média de 2,6 mm Mg<sup>-1</sup>) e 9,5 Mg ha<sup>-1</sup> (média de 3,7 mm Mg<sup>-1</sup>). A maior  $\Delta AS$  foi obtida com o nível de 4,2 Mg ha<sup>-1</sup>, que oscilou de 11,0 mm Mg<sup>-1</sup>, no período 1, até 7,0 mm Mg<sup>-1</sup>, no período 4. Este resultado pode ser explicado pela disposição da palhada na superfície do solo. Como a palha não foi triturada, mas deixada na superfície, as

primeiras camadas de palha, mais próximas ao solo, propiciaram maior bloqueio à radiação solar, o que evitou o aquecimento e a consequente perda de água do solo, em comparação às camadas superiores (Silva et al., 2006). A manutenção de 9,5 Mg ha<sup>-1</sup> de palhada, apesar de não ter apresentado a menor  $\Delta AS$  por Mg de palha, relativamente, permitiu melhor eficiência na conservação do AS, já que os acréscimos em palhada de 13,0 e 18,4 Mg ha<sup>-1</sup> não propiciaram ganho significativo no AS.

Nos tratamentos com palhada, houve gradativa redução do AS em ordem inversa à quantidade de palhada deixada na superfície do solo. Contudo, nos períodos 3 e 4, quando a cultura cobre totalmente a superfície do solo, o que é evidenciado pelos elevados valores do IAF



**Figura 3.** Armazenamento de água no solo (AS), na profundidade de 0,0 a 0,3 m, em função da evapotranspiração acumulada da cultura (ETcac), para cada nível de palhada de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) mantido na superfície de Plintossolo Argilúvico, em cada período de monitoramento avaliado (P1 a P4) entre a capacidade de campo (CC), umidade crítica (AC) e ponto de murcha permanente (PMP) em 2013/2014. P1, dos 107 aos 129 dias após o corte da cana-soca (DAC), isto é, estágio de perfilhamento; P2, dos 132 aos 150 DAC, fase de crescimento rápido; P3, dos 310 aos 332 DAC, fase final de crescimento e início de maturação; e P4, dos 335 aos 361 DAC, fase de maturação.

(Figura 2), a evaporação perde importância na extração de água do solo, enquanto a transpiração prepondera (Dalmago et al., 2010). Nesses períodos, praticamente já foi finalizado o processo de decomposição da palhada adicionada sobre a superfície do solo (Santana et al., 2011). Por isso, nessa fase do ciclo, a dinâmica da água no solo é alterada também pelo conteúdo de MO resultante da decomposição da palhada (Galdos et al., 2009).

Os dados de AS seguiram um modelo logarítmico (não linear) em relação aos dados da ET<sub>cac</sub>, com bons coeficientes de determinação, em todos os períodos avaliados (Tabela 1). A análise das equações de regressão permite mensurar os benefícios da palhada quanto à manutenção do AS, após eventos de chuva e/ou irrigação, representados pelo número de dias (ND-AC) ou pela ET<sub>cac</sub> (ET<sub>c</sub>-AC) necessários para se atingir o armazenamento crítico de água no solo.

O nível de palhada de 18,4 Mg ha<sup>-1</sup>, no período 1, permitiu ganho de ND-AC de até 11 dias e 46 mm de ET<sub>c</sub>-AC, em comparação ao solo sem palhada. Porém, com 9,5 Mg ha<sup>-1</sup> de palhada, houve ganho de

ND-AC de apenas cinco dias e 22,7 mm de ET<sub>c</sub>-AC (Tabela 1), o que evidencia os benefícios da cobertura do solo no início do ciclo de cultivo. No período 2, de máxima demanda por água (K<sub>c</sub> = 1,25), os valores de ET<sub>c</sub>-AC e ND-AC foram menores, o que é indicação de uma rápida redução no AS por extração de água pelas raízes da cultura (Figura 3). Nessa fase, se o solo for mantido sem cobertura de palhada, o AC será atingido dois dias após chuva e/ou irrigação, mas, no solo coberto com palha, esse tempo será aumentado para quatro (4,2 Mg ha<sup>-1</sup>), cinco (9,5 Mg ha<sup>-1</sup>) e sete dias (18,4 Mg ha<sup>-1</sup>), o que é muito importante em uma região com oferta pluviométrica irregular e com período de estiagem prolongado (Bastos & Andrade Júnior, 2014).

Nos períodos 3 e 4, à exceção do tratamento sem palhada no período 4, as curvas de AS se mantiveram sempre acima da linha de AC praticamente durante todo o período de avaliação (Figura 3). No período 3, para todos os níveis de palhada, o AS manteve-se favorável e acima do AC recomendado para a cana-de-açúcar. Na metade do período 4, apenas no solo sem

**Tabela 1.** Equações de regressão para armazenamento de água no solo (AS), na profundidade de 0,0 a 0,3 m, em função da evapotranspiração acumulada da cultura (ET<sub>cac</sub>), para cada nível de palhada de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) mantido na superfície de Plintossolo Argilúvico, nos períodos de monitoramento avaliados.

Período <sup>(1)</sup>	Palhada (Mg ha <sup>-1</sup> )	Equação	R <sup>2</sup>	ET <sub>c</sub> - AC <sup>(2)</sup> (mm)	ND - AC <sup>(3)</sup>
1	0,0	AS = 114,28 - 20,93 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,98	27,4	6
	4,2	AS = 112,66 - 17,77 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,96	45,0	10
	9,5	AS = 109,86 - 16,57 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,96	50,1	11
	13,0	AS = 109,69 - 15,59 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,93	63,4	14
	18,4	AS = 113,08 - 15,85 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,90	73,4	17
2	0,0	AS = 71,223 - 10,68 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,98	11,6	2
	4,2	AS = 80,087 - 11,32 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,98	22,2	4
	9,5	AS = 83,968 - 11,23 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,95	32,1	5
	13,0	AS = 86,906 - 11,74 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,95	35,5	6
	18,4	AS = 88,637 - 11,41 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,93	45,8	7
3	0,0	AS = 89,359 - 9,978 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,92	- <sup>(4)</sup>	-
	4,2	AS = 90,838 - 8,513 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,95	-	-
	9,5	AS = 100,60 - 9,332 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,87	-	-
	13,0	AS = 97,565 - 7,555 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,86	-	-
	18,4	AS = 100,89 - 8,037 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,89	-	-
4	0,0	AS = 88,377 - 11,94 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,89	37,8	12
	4,2	AS = 85,684 - 8,719 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,87	-	-
	9,5	AS = 96,784 - 10,69 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,89	-	-
	13,0	AS = 92,277 - 8,733 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,89	-	-
	18,4	AS = 93,272 - 7,964 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,85	-	-

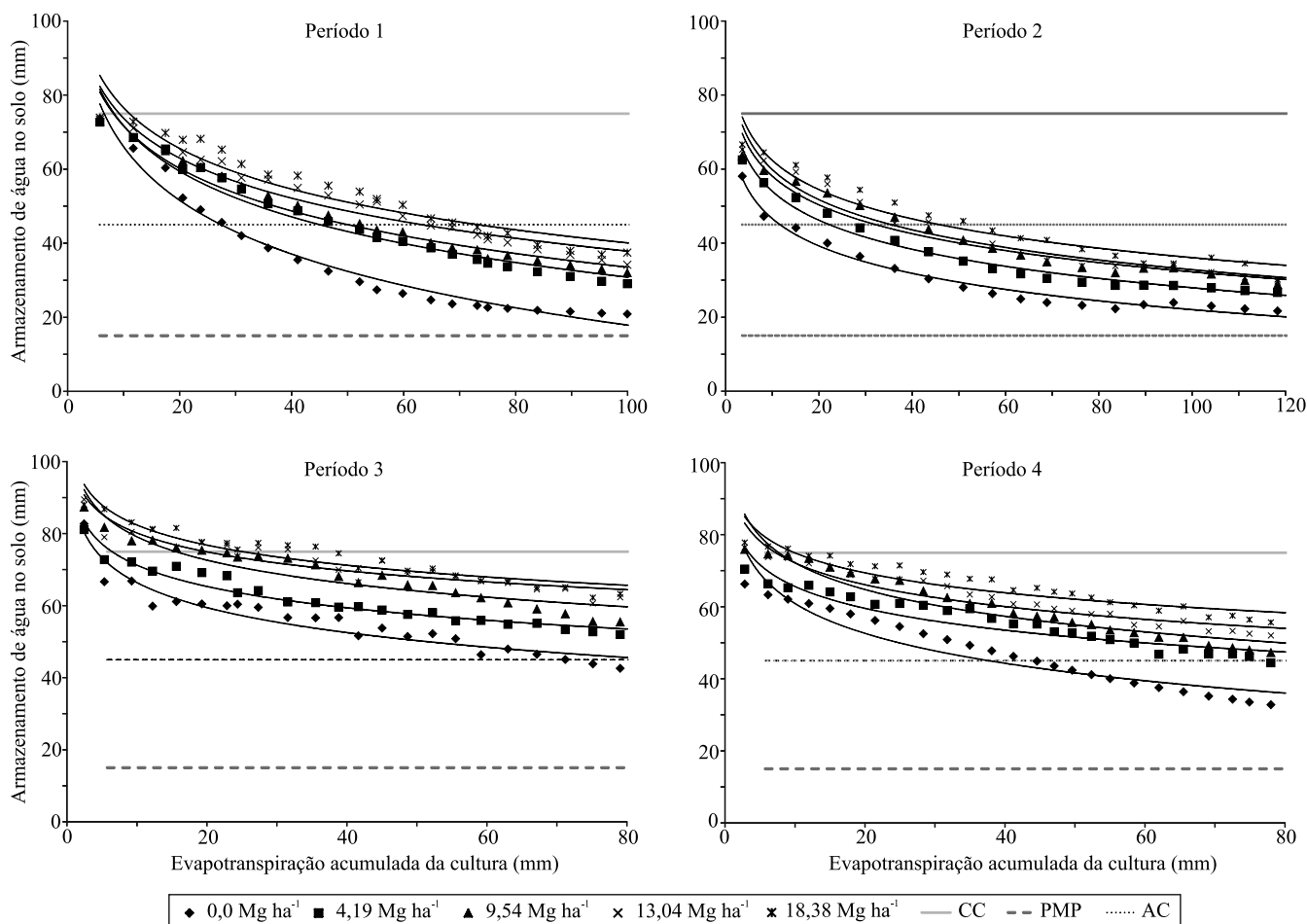
<sup>(1)</sup>1, dos 107 aos 129 dias após o corte da cana soca (DAC), isto é, estágio de perfilhamento; 2, dos 132 aos 150 DAC, fase de crescimento rápido; 3, dos 310 aos 332 DAC, fase final de crescimento e início de maturação; e 4, dos 335 aos 361 DAC, fase de maturação. <sup>(2)</sup>ET<sub>c</sub>-AC, evapotranspiração da cultura necessária para atingir o armazenamento crítico (mm). <sup>(3)</sup>ND-AC, número de dias para o armazenamento crítico. <sup>(4)</sup>-, valores de ET<sub>c</sub>-AC estimados superiores aos valores experimentais. R<sup>2</sup>, coeficiente de determinação.

palhada, é que o AS reduziu-se para níveis inferiores ao AC recomendado para a cana-de-açúcar. Isso porque na fase final de desenvolvimento da cultura, ocorre redução da evaporação direta de água da superfície do solo (Peres et al., 2010), em razão do sombreamento das entrelinhas de cultivo (Dalmago et al., 2010), bem como da necessidade hídrica da cultura (Allen et al., 1998). Certamente, a maior retenção de água no solo é decorrente do acréscimo no conteúdo de MO, em razão da decomposição da palhada.

Na camada superficial de 0,0–0,3 m, em todos os períodos de avaliação, o nível de cobertura que possibilitou a menor  $\Delta AS$  por Mg de palhada adicionada sobre o solo foi o de 18,4 Mg ha<sup>-1</sup> (média de 1,3 mm Mg<sup>-1</sup>), sem, contudo, diferir muito dos níveis

de 13,0 (média de 1,9 mm Mg<sup>-1</sup>) e 9,5 Mg ha<sup>-1</sup> (média de 2,9 mm Mg<sup>-1</sup>). A maior  $\Delta AS$  foi obtida com o nível de 4,2 Mg ha<sup>-1</sup>, que oscilou de 8,0 mm Mg<sup>-1</sup>, no período 1, até 5,0 mm Mg<sup>-1</sup>, no período 4. Embora com menor intensidade, a cobertura do solo com 9,5 Mg ha<sup>-1</sup> de palhada também possibilitou melhor eficiência na conservação do AS, em comparação aos demais níveis de palhada avaliados.

Em todos os períodos avaliados, na camada de 0,3–0,6 m, os valores de AS no solo sem palhada, durante todo o período de monitoramento, foram inferiores aos valores de AS na cobertura com palhada (Figura 4), apesar de a intensidade ter sido menor devido à menor contribuição da componente evaporação de água do solo (Dalmago et al., 2010) e, à menor perda de



**Figura 4.** Armazenamento de água no solo (AS), na camada de 0,3–0,6 m, em função da evapotranspiração acumulada da cultura (ETcac), para cada nível de palhada de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) mantido na superfície de Plintossolo Argilúvico, em cada período de monitoramento avaliado (P1 a P4) entre a capacidade de campo (CC), umidade crítica (AC) e ponto de murcha permanente (PMP) em 2013/2014. P1, dos 107 aos 129 dias após o corte da cana soca (DAC), isto é, estágio de perfilhamento; P2, dos 132 aos 150 DAC, fase de crescimento rápido; P3, dos 310 aos 332 DAC, fase final de crescimento e início de maturação; e P4, dos 335 aos 361 DAC, fase de maturação.

água nessa profundidade. Peres et al. (2010), ao avaliar a cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade volumétrica ( $\Theta$ ) de um Latossolo Vermelho-Escuro, de textura argilosa, concluíram que a influência da cobertura de palha na umidade volumétrica do solo diminui com o aumento da profundidade e que a perda de água na condição sem palha ocorreu praticamente por evaporação. Segundo Aquino et al. (2015), também há menor contribuição da componente extração de água pelas raízes da cultura, em razão da menor concentração de raízes na camada de 0,3–0,6 m. Nessa camada, o AS é mais afetado pela granulometria do solo, notadamente, a fração argila, que se apresenta com conteúdo mais elevado ( $112,0 \text{ g kg}^{-1}$ ) em relação à camada de 0,0–0,3 m ( $81,2 \text{ g kg}^{-1}$ ).

Assim como na camada de 0,0–0,3 m, na de 0,3–0,6 m, o AS também seguiu um modelo logarítmico (não linear) em relação às estimativas de ET<sub>cac</sub> (Tabela 2). Porém, os valores de ET<sub>c-AC</sub> e ND-AC reduziram-se em relação à camada superficial, o que

é indicação de que houve redução nas perdas de água atribuídas à extração pelas raízes (Figura 4). De fato, sob elevada demanda hídrica, como no período 2, se o solo for mantido sem palhada, o AC será atingido em três dias, após evento de chuva e/ou irrigação, enquanto com o solo coberto com palhada, esse tempo varia de cinco ( $4,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) a oito dias ( $13,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Segundo Aquino et al. (2015), é uma característica da cana-de-açúcar ter maior desenvolvimento de raízes na camada de 0,0–0,2 m.

Foram observadas diferenças significativas entre as médias de TCH da cana-de-açúcar de quarta soca cultivada em solo coberto com os diferentes níveis de palhada (Figura 5), principalmente entre o solo sem e o com 100% de palhada; no entanto, não houve diferença significativa entre os demais níveis de palhada. As maiores diferenças de TCH foram obtidas na comparação entre os tratamentos sem cobertura ( $65,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e com cobertura total do solo com palhada ( $87,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), com ganho de  $20 \text{ Mg ha}^{-1}$ , o que

**Tabela 2.** Equações de regressão para armazenamento de água no solo (AS), na profundidade de 0,3 a 0,6 m, em função da evapotranspiração acumulada da cultura (ET<sub>cac</sub>), para cada nível de palhada de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) mantido na superfície de Plintossolo Argilúvico, nos períodos de monitoramento avaliados.

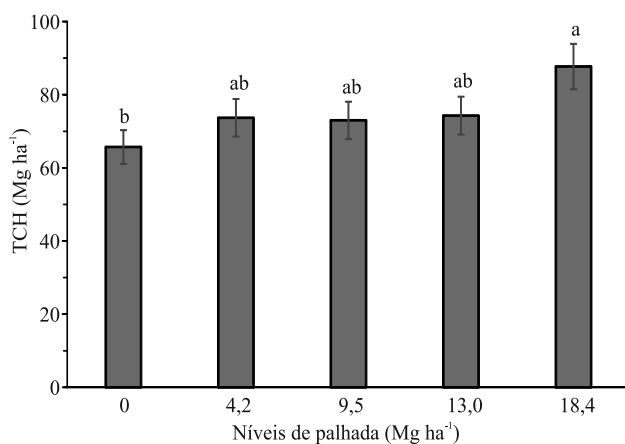
Período <sup>(1)</sup>	Palhada (Mg ha <sup>-1</sup> )	Equação	R <sup>2</sup>	ET <sub>c</sub> - AC <sup>(2)</sup> (mm)	ND - AC <sup>(3)</sup>
1	0,0	AS = 103,82 - 15,60 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,97	43,4	10
	4,2	AS = 107,97 - 13,56 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,87	- <sup>(4)</sup>	-
	9,5	AS = 105,43 - 12,78 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,92	-	-
	13,0	AS = 105,53 - 13,11 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,87	-	-
	18,4	AS = 106,34 - 12,90 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,83	-	-
2	0,0	AS = 79,448 - 11,75 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,96	18,8	3
	4,2	AS = 84,124 - 11,49 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,95	30,1	5
	9,5	AS = 83,333 - 10,37 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,95	40,3	7
	13,0	AS = 83,973 - 9,959 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,93	50,1	8
	18,4	AS = 88,637 - 11,41 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,93	45,8	7
3	0,0	AS = 86,278 - 6,028 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,86	-	-
	4,2	AS = 92,715 - 5,668 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,81	-	-
	9,5	AS = 96,736 - 6,049 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,79	-	-
	13,0	AS = 92,926 - 3,489 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,80	-	-
	18,4	AS = 93,249 - 2,982 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,73	-	-
4	0,0	AS = 78,560 - 7,591 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,82	83,2	27
	4,2	AS = 86,571 - 7,169 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,80	-	-
	9,5	AS = 86,429 - 6,705 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,80	-	-
	13,0	AS = 90,164 - 5,136 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,66	-	-
	18,4	AS = 92,238 - 5,443 Ln(ET <sub>cac</sub> )	0,73	-	-

<sup>(1)</sup>1, dos 107 aos 129 dias após o corte da cana soca (DAC), isto é, estágio de perfilhamento; 2, dos 132 aos 150 DAC, fase de crescimento rápido; 3, dos 310 aos 332 DAC, fase final de crescimento e início de maturação; e 4, dos 335 aos 361 DAC, fase de maturação. <sup>(2)</sup>ET<sub>c-AC</sub>, evapotranspiração da cultura necessária para atingir o armazenamento crítico (mm). <sup>(3)</sup>ND-AC, número de dias para atingir o armazenamento crítico. <sup>(4)</sup>-, valores de ET<sub>c-AC</sub> estimados superiores aos valores experimentais. R<sup>2</sup>, coeficiente de determinação.



é indicativo de que o aumento no AS proporcionado pela manutenção da palhada sobre a superfície do solo, especificamente na camada de 0,0–0,3 m (Figura 3), proporcionou ganhos significativos no TCH, pois o principal fator limitante ao TCH é a disponibilidade hídrica para a cultura, sobretudo no período de maior exigência hídrica.

Entretanto, observou-se que, no nível de 4,2 Mg ha<sup>-1</sup> de palhada, houve ganho de 8,0 Mg ha<sup>-1</sup> de TCH em relação ao tratamento sem cobertura, com melhor resposta de TCH por nível de palhada mantida sobre o solo (1,9 TCH Mg<sup>-1</sup> de palha); não tendo diferido dos níveis de 9,5 e 13,0 Mg ha<sup>-1</sup>. O nível de 18,4 Mg ha<sup>-1</sup> de palha resultou em TCH de 87 Mg ha<sup>-1</sup>, com ganho de 20 Mg ha<sup>-1</sup> de TCH; porém, observou-se razão de 1,1 e 0,8 TCH Mg<sup>-1</sup> de palha em comparação ao solo sem cobertura e ao com 4,2 Mg ha<sup>-1</sup> de palhada, respectivamente. Esse resultado está relacionado ao efeito da disposição da palhada em camadas na superfície do solo. Aquino & Medina (2014) observaram ganhos de 28 Mg ha<sup>-1</sup> sobre a produtividade da cana planta quando avaliaram diferentes níveis de palhada. Aquino et al. (2015) concluíram que a deposição no solo de 10 Mg ha<sup>-1</sup> (50%) de palhada foi suficiente para incrementar a produtividade da cana-de-açúcar. Tavares et al. (2010) observaram ganho de produtividade do cultivo sucessivo de cana-de-açúcar sem queima, o que associaram ao aumento do AS.



**Figura 5.** Produtividade de colmos (TCH) da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), sob diferentes níveis de palhada em julho de 2013 a julho de 2014. Barras com letras iguais não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Diferença mínima significativa (DMS) de 16,9 e coeficiente de variação de 10,06%.

No presente trabalho, a manutenção de 25% (4,2 Mg ha<sup>-1</sup>) de cobertura sobre o solo mostrou ser suficiente para preservar o AS para a cana-de-açúcar, o que estendeu em até dez dias o período de tempo para que seja atingido o AC, principalmente na camada de 0,0–0,3 m (Tabela 1). Contudo, pelo fato de a cobertura com 50% de palha (9,5 Mg ha<sup>-1</sup>) ter promovido melhor conservação do AS por Mg de palha adicionada (média de 3,7 mm Mg<sup>-1</sup>) e melhoria dos demais atributos do solo, pode-se considerar que seja adequado manter 50% de cobertura de palhada (9,5 Mg ha<sup>-1</sup>), pois os níveis maiores de cobertura não promoveram ganho substancial no armazenamento de água no solo. Dessa forma, o excedente de palha produzido pode ser utilizado para outros fins, como a cogeração de energia limpa e renovável pelas usinas sucroalcooleiras.

## Conclusão

A manutenção de até 50% (9,5 Mg ha<sup>-1</sup>) de palhada de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) sobre a superfície do solo promove melhor conservação de água no solo por Mg de palha adicionada (3,7 mm Mg<sup>-1</sup>), retarda em até 11 dias o alcance do armazenamento crítico de água no solo e eleva a produtividade de colmos em 8,0 Mg ha<sup>-1</sup>, em comparação ao solo sem cobertura de palha.

## Agradecimentos

À Embrapa Meio-Norte, à usina Comvap Açúcar e Alcool Ltda., à Petrobrás e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio; e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsa de estudo.

## Referências

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 297p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).
- AQUINO, G.S. de; MEDINA, C. de C. Produtividade e índices biométricos e fisiológicos de cana-de-açúcar cultivada sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.173-180, 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000300003.
- AQUINO, G.S. de; MEDINA, C. de C.; PORTEIRA JUNIOR, A.L.; SANTOS, L.O.; CUNHA, A.C.B.; KUSSABA, D.A.O.;

- SANTOS JUNIOR, J.H. dos; ALMEIDA, L.F.; SANTIAGO, A.D. Sistema radicular e produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, p.1150-1159, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015001200004.
- BASTOS, E.A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de. **Boletim agrometeorológico de 2013 para o Município de Teresina, Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2014. 38p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 228).
- CHIEPPE JÚNIOR, J.B.; PEREIRA, A.L.; STONE, L.F.; MOREIRA, A.E.K. Efeitos de níveis de cobertura do solo sobre a produtividade e crescimento da cultura do feijoeiro irrigado, em sistema plantio direto. **Irriga**, v.12, p.177-184, 2007.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; CARVALHO, S.J.P. de; LÓPEZ-OVEJERO, R.F.; NICOLAI, M.; HIDALGO, E.; SILVA, J.E. da. Conservation of natural resources in Brazilian agriculture: implications on weed biology and management. **Crop Protection**, v.26, p.383-389, 2007. DOI: 10.1016/j.cropro.2005.06.013.
- DALMAGO, G.A.; BERGAMASCHI, H.; KRÜGER, C.A.M.B.; BERGONCI, J.I.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.780-790, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010000800002.
- DILLEWIJN, C.V. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371p.
- FARIAS, C.H. de A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.356-362, 2008. DOI: 10.1590/S1415-43662008000400004.
- GALDOS, M.V.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma**, v.153, p.347-352, 2009. DOI: 10.1016/j.geoderma.2009.08.025.
- HERMANN, E.R.; CÂMARA, G.M.S. Um método simples para estimar a área foliar da cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.17, p.32-34, 1999.
- LEDIEU, J.; DE RIDDER, P.; DE CLERCK, P.; DAUTREBANDE, S. A method of measuring soil moisture by time-domain reflectometry. **Journal of Hydrology**, v.88, p.319-328, 1986. DOI: 10.1016/0022-1694(86)90097-1.
- PEREIRA, F.F.S.; MATSURA, E.E.; MOUSINHO, F.E.P.; BIZARI, D.R. Retenção de água em níveis de cobertura morta no feijoeiro irrigado em sistema de plantio direto. **Irriga**, v.20, p.557-569, 2015. DOI: 10.15809/irriga.2015v20n3p557.
- PERES, J.G.; SOUZA, C.F.; LAVORENTI, N.A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.875-876, 2010. DOI: 10.1590/s0100-69162010000500010.
- RITCHIE, J.T.; BASSO, B. Water use efficiency is not constant when crop water supply is adequate or fixed: the role of agronomic management. **European Journal of Agronomy**, v.28, p.273-281, 2008. DOI: 10.1016/j.eja.2007.08.003.
- SANTANA, J.A. da S.; VIEIRA, F. de A.; SOUTO, J. da S.; GONDIM, S.C.; FONSECA, F. das C.E. da. Decomposição da biomassa foliar de cana-de-açúcar em um Neossolo na região de Areia-PB. **Revista Caatinga**, v.24, p.28-32, 2011.
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- SILVA, F.A.M. da; PINTO, H.S.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; AFFHOLDER, F. Dinâmica da água nas palhadas de milho, milheto e soja utilizadas em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.717-724, 2006. DOI: 10.1590/S0100-204X2006000500001.
- SILVA, F. de A.S. e. **ASSISTAT**: versão 7.6 beta. 2013. Disponível em: <<http://www.assistat.com/>>. Acesso em: 25 fev. 2016.
- SOUZA, Z.M. de; PRADO, R. de M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.271-278, 2005. DOI: 10.1590/S0100-204X2005000300011.
- TAVARES, O.C.H.; LIMA, E.; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.32, p.61-68, 2010. DOI: 10.4025/actasciagron.v32i1.2051.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance**. Centerton: Laboratory of Climatology, 1957. 311p. (Publication in climatology, v.10, n.3).
- TIMM, L.C.; OLIVEIRA, J.C.M. de; TOMINAGA, T.T.; CÁSSARO, F.A.M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. Water balance of a sugarcane crop: quantitative and qualitative aspects of its measurement. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.57-62, 2002. DOI: 10.1590/S1415-43662002000100011.

Recebido em 25 de fevereiro de 2016 e aprovado em 29 de julho de 2016