

## Uso de Água em Cultivo de Mamona no Agreste Meridional de Pernambuco

Clarissa de Albuquerque Gomes<sup>1</sup>, José Romualdo de Sousa Lima<sup>1</sup>, Karoline de Melo Padilha<sup>1</sup>,  
Antonio Celso Dantas Antonino<sup>2</sup>, João Carlos Ferreira Borges Júnior<sup>3</sup>, Eduardo Soares de Souza<sup>1</sup>,  
Suzana Maria G. Lima Montenegro<sup>2</sup>

clarissalbuquerque@hotmail.com; romualdo@uag.ufpe.br; krolpadilha@yahoo.com.br; acda@ufpe.br; jcborges@ufs.edu.br;  
eduardosouza@uast.ufpe.br; suzanam@ufpe.br

Recebido: 08/04/12 - revisado: 15/09/12 - aceito: 01/07/13

### RESUMO

Dos componentes do ciclo hidrológico, a evapotranspiração (ET) é um dos mais importantes, sendo que existem diversos métodos para a sua quantificação, a exemplo do balanço hídrico. Este método permite o acompanhamento das relações hídricas durante as diferentes fases fenológicas da cultura, tornando-se de grande importância para o manejo adequado dos recursos hídricos. Dessa forma, no presente trabalho determinaram-se os componentes do balanço hídrico (evapotranspiração, variação do armazenamento de água no solo, drenagem profunda, ascensão capilar, precipitação pluvial e irrigação suplementar) em um Latossolo Amarelo cultivado com a variedade de mamona BRS-149 Nordestina. O experimento foi conduzido em uma área de aproximadamente 9 ha, na Fazenda Estivas no município de Garanhuns-PE (8° 53' S, 36° 31' O, 823 m de altitude). Para a determinação do balanço hídrico foram instalados sensores automatizados para a medição do conteúdo volumétrico de água no solo nas profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,80; e 1,00 m, além de um pluviógrafo automatizado para medir a precipitação pluvial. Também foram realizados ensaios de infiltração, para determinação da condutividade hidráulica à saturação do solo, bem como determinação da curva de retenção da água no solo, em laboratório. Além disso, foi determinada a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), com dados de uma estação meteorológica instalada no centro da área experimental. Dos resultados, verificou-se que o fluxo de água na base do solo (ascensão capilar, AC, e/ou drenagem profunda, D), durante todo o período de avaliação, ocorreu predominantemente no sentido descendente, sendo perdidos 75,1 mm de água por drenagem profunda, o que representa 27,8% de toda a água fornecida à cultura. A ET durante todo o ciclo da mamona foi de 255,6 mm, com valor médio de 2,2 mm d<sup>-1</sup>, sendo que a mesma acompanhou a variação da precipitação e irrigação. A ET<sub>o</sub> teve valores total e médio de 503,0 mm e 4,06 mm d<sup>-1</sup>, respectivamente. Em relação ao consumo de água (ET) pela mamona nas diferentes fases fenológicas, observou-se que o maior consumo ocorreu na fase reprodutiva (1,87 mm d<sup>-1</sup>), no entanto, nesta mesma fase, o valor médio de ET<sub>o</sub> foi 4,83 mm d<sup>-1</sup>. Desse modo, provavelmente, a mamona sofreu estresse hídrico nessa fase, pois, a relação ET/ET<sub>o</sub> foi bem abaixo de 1 (0,39), como também ocorreram os menores valores de área foliar e índice de área foliar.

**Palavras chaves:** *Ricinus communis* L. Balanço hídrico. Evapotranspiração.

### INTRODUÇÃO

Com os incentivos do Governo Federal, por meio da criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), e à divulgação de novas tecnologias, a produção brasileira de mamona cresceu, e o País assumiu a posição de terceiro produtor

mundial desse produto agrícola (KOURI; SANTOS; SANTOS, 2004; SOUTO; SICSÚ, 2011). A produção de mamona no ano de 2005 foi de 168.802 mil toneladas, a maior safra dos últimos 15 anos, sendo que entre 2003 e 2004, a participação brasileira na produção mundial cresceu de 7,3% para 10,6% e, em 2005, foi para 12,1%. Esta recuperação pode ser explicada pelo lançamento do PNPB (SOUTO; SICSÚ, 2011).

Devido a esse fato, também ocorreu aumento nas pesquisas realizadas com essa cultura. Essas pesquisas investigaram os mais variados aspectos do sistema produtivo da mamona, tais como, fertilidade e nutrição (DINIZ NETO et al., 2009), manejo cultural e irrigação (SOUZA et al., 2007a,b) e melho-

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Nuclear/UFPE

<sup>3</sup> Universidade Federal de São João Del-Rei, Campus Sete Lagoas

ramento genético (BERTOZZO; LARA; ZANOTTO, 2011; COSTA et al., 2006). No entanto, trabalhos relacionados com o consumo de água (evapotranspiração) da mamona, em condições de campo, ainda são escassos na literatura nacional (GOUVEIA NETO et al., 2011).

O consumo de água pelas comunidades vegetais é uma propriedade importante a ser considerada nos estudos de regionalização agrícola ou na avaliação da produtividade das culturas. Uma forma pela qual esse consumo (evapotranspiração real) pode ser determinado é pelo método do balanço hídrico no solo (CRUZ et al., 2005), que corresponde ao monitoramento e à contabilidade da quantidade de água contida em uma determinada camada de solo, geralmente uma camada de solo limitada pela profundidade efetiva do sistema radicular, num determinado período de tempo.

Esse método vem sendo utilizado por vários autores em diversos estudos e culturas (ANTONINO et al., 2005; AZEVEDO; SILVA; SILVA, 2003; CRUZ et al., 2005; LIMA et al., 2006a; MOROKE et al., 2011; OLIVEIRA; CASTRO; GOLDENFUM, 2010) e compreende uma equação em que todas as entradas (consideradas positivas) e saídas (negativas) de água em um volume de controle de solo somam-se algebricamente durante um determinado período de tempo. Esse volume de solo é delimitado a partir da superfície (interface solo-atmosfera) até a profundidade que englobe o sistema radicular do cultivo (BRITO; LIBARDI; GIBERTO, 2009).

Apesar da importância da mamona e do método do balanço hídrico, existem poucos trabalhos que quantificaram os componentes do balanço de água nesta cultura. Silva et al. (2007) quantificaram os componentes do balanço hídrico em mamona cultivada na microrregião do Brejo Paraibano e encontraram que a evapotranspiração média foi de 4,1 mm d<sup>-1</sup>.

O balanço hídrico é uma ferramenta importante para o manejo racional dos recursos hídricos, pois permite, quando realizado em condições de campo, o acompanhamento das relações hídricas durante as diferentes fases fenológicas da cultura (OLIVEIRA; CASTRO; GONDENFUM, 2010).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo empregar a metodologia do balanço hídrico para a determinação do consumo de água em cultivo de mamona na região de Garanhuns-PE, monitorando-se também o desenvolvimento vegetativo.

## MATERIAL E MÉTODOS

As medidas para a realização do balanço hídrico foram efetuadas na fazenda Estivas, a qual apresenta relevo plano a suave ondulado, município de Garanhuns-PE (8° 53' S, 36° 31' O, 823 m). De acordo com Borges Júnior et al. (2012), o clima é tropical chuvoso, com verão seco; a estação chuvosa se inicia no outono e engloba o inverno e o início da primavera. As médias anuais de temperatura e umidade relativa do ar são, respectivamente, 21,1°C e 82,5%, com precipitação pluvial média anual de 897 mm, sendo os meses mais chuvosos maio, junho, julho e agosto. O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 2006).

No dia 04 de agosto de 2009, realizou-se a semeadura de mamona, cultivar BRS 149 Nordeste, cultivada manualmente no espaçamento de 4,0 m x 1,0 m, com uma planta por cova.

Os dados utilizados nesse trabalho correspondem ao período de 09 de agosto a 10 de dezembro de 2009, que foi dividido em 13 subperíodos, dos quais os 12 primeiros com 10 dias e o último com 4 dias. O período de monitoramento correspondeu ao ciclo da cultura, ou seja, da emergência até a colheita.

A duração das diferentes fases fenológicas da mamona foi determinada por meio de observações diárias das plantas no campo. Desse modo, a fase de emergência consistiu dos 5 aos 10 dias após o plantio (09 a 14/08/2009), a fase vegetativa se estendeu dos 11 aos 63 dias após o plantio (15/08 a 06/10/2009), a fase reprodutiva dos 64 aos 102 dias (07/10 a 14/11/2009) e a fase de maturidade fisiológica se estendeu dos 103 aos 128 dias após o plantio (15/11 a 10/12/2009).

Para a determinação do balanço hídrico foram instalados sensores para medir o conteúdo volumétrico de água no solo, conectados a um TDR (time domain reflectometry, modelo CS 615 da Campbell Scientific) nas profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,80; e 1,00 m. As leituras de cada sensor foram armazenadas a cada trinta minutos em um sistema de aquisição de dados CR 10X da Campbell Scientific. A curva de calibração utilizada foi a do próprio sensor, pois, Lima et al. (2006b), ao comparar a umidade volumétrica medida com esses sensores, no mesmo tipo de solo, com medidas gravimétrica e de sonda de nêutrons, não encontraram diferença estatística entre os valores de umidade do solo.

O balanço hídrico foi efetuado considerando-se a camada de solo de 0-0,80 m, tendo em vista

que essa profundidade engloba grande parte do sistema radicular da cultura até o final do seu ciclo, não sendo considerada a variação da profundidade radicular ao longo do tempo.

O balanço hídrico, em um período de tempo, pode ser representado pela seguinte equação (LIMA et al., 2006a):

$$\Delta A = P + I + AC - D \pm R - ET \quad (1)$$

A partir da equação do balanço hídrico (Eq. 1), a evapotranspiração da cultura (ET) foi obtida por:

$$ET = P + I + AC - D \pm R - \Delta A \quad (2)$$

em que,  $\Delta A$  é a variação de armazenamento de água no perfil de solo, mm; P é a precipitação pluvial, mm; I é a irrigação, mm; AC é a ascensão capilar, mm; D é a drenagem profunda, mm, e R é o escoamento superficial, mm.

Foi aplicada uma irrigação suplementar, via gotejamento, em períodos variados numa lâmina média de 5,0 mm d<sup>-1</sup>. Para cálculo da lâmina média, foram escolhidos 20 gotejadores ao acaso na área experimental e medidas suas respectivas vazões. A partir daí, foi feita uma média e estimou-se a lâmina média de água irrigada em mm d<sup>-1</sup>.

Não ocorreu escoamento superficial de água, devido à topografia plana no local das medições e aos baixos índices pluviométricos verificados no período estudado. A precipitação pluvial foi monitorada por meio de um pluviógrafo automatizado instalado numa torre disposta no centro da área.

O armazenamento acumulado de água no solo, na camada de 0 a 0,80 m, foi calculado pela regra do trapézio (LIBARDI, 2000), considerando que as medidas foram realizadas em intervalos igualmente espaçados, considerando-se desde a superfície (z = 0 m) até a profundidade de interesse (z = 0,80 m), com a equação:

$$A_L = \int_0^L \theta(z) dz = \left[ 0,50\theta(z_0) + \sum_{i=1}^{n-1} \theta(z_i) + 0,50\theta(z_n) \right] \Delta z \quad (3)$$

em que,  $\theta$  é o conteúdo volumétrico de água no solo, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, e  $i$  é o número de profundidades de leitura, adimensional.

A variação no armazenamento acumulado (na camada de 0-0,80 m) de água no perfil de solo ( $\Delta A$ ) foi determinada pela diferença dos valores do armazenamento de água do perfil nos tempos inicial e final de cada período considerado, por:

$$\Delta A = [\theta_{(f)} - \theta_{(i)}] L = A_f - A_i \quad (4)$$

sendo  $A_f$  e  $A_i$  os armazenamentos acumulados de água final e inicial, respectivamente.

O fluxo de água, no intervalo de tempo diário, através da base do perfil de solo, isto é na profundidade de 0,80 m, (drenagem profunda ou ascensão capilar) foi estimado com a equação de Darcy-Buckingham:

$$q = -K(\theta) \nabla \psi_t \quad (5)$$

em que, q é a densidade de fluxo da água no solo, mm d<sup>-1</sup>; K( $\theta$ ) é a condutividade hidráulica do solo na condição de não saturação, mm d<sup>-1</sup>, e  $\nabla \psi_t$  é o gradiente de potencial total na direção vertical, adimensional. Se o fluxo de água (q) for positivo indica ascensão capilar (AC); se negativo indica drenagem (D).

O gradiente de potencial total foi calculado com os valores obtidos nas profundidades de 0,60 e 1,00 m. O potencial total ( $\psi_t$ ) foi igual ao potencial matricial (h) mais o potencial gravitacional ( $\psi_g$ , que corresponde a profundidade).

O potencial matricial, na escala diária, foi obtido por meio da equação de van Genuchten (1980), utilizando-se os dados da curva de retenção e do conteúdo volumétrico de água no solo (também obtidos diariamente por meio dos sensores TDR), para as profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e 1,0 m. A curva de retenção de cada profundidade foi obtida em laboratório, usando-se Extrator de Richards nas pressões de 0,01; 0,033; 0,1; 0,3; 0,5; 0,7 e 1,5 MPa. Posteriormente, esses dados foram ajustados a equação de van Genuchten (1980):

$$\theta(h) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \cdot [1 + (\alpha |h|)^n]^{-m} \quad (6)$$

com,  $m = 1 - \frac{2}{n}$  (BURDINE, 1953).

em que,  $\theta_s$  é o conteúdo volumétrico de água no solo na saturação, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>;  $\theta_r$  é o conteúdo volumétrico de água no solo residual, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>; h é o potencial matricial da água no solo, cm;  $\alpha$  é o inverso da pressão de borbulhamento a partir da qual a água começa a ser drenada do solo previamente saturado, cm<sup>-1</sup>, e n e m são parâmetros de ajuste da equação.

A condutividade hidráulica não saturada, K( $\theta$ ), foi obtida por intermédio da equação de van Genuchten (1980), utilizando-se a hipótese de Burdine (1953).

$$K(\theta) = K_s S_e^2 [1 - (1 - S_e^{1/m})^m] \quad (7)$$

em que,  $K_s$  é a condutividade hidráulica à saturação do solo,  $\text{mm d}^{-1}$ , e  $S_e$  é o grau de saturação efetiva.

O grau de saturação efetiva ( $S_e$ ) é dado por:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (8)$$

A condutividade hidráulica à saturação do solo ( $K_s$ ) foi obtida de acordo com a metodologia Beerkan (SOUZA et al., 2008), por meio de ensaios de infiltração com infiltrômetro de anel simples, de 0,15 m de diâmetro, na superfície e nas profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e 1,0 m, utilizando-se o método proposto por Haverkamp et al. (1994). O ensaio de infiltração consiste em anotar o tempo em que volumes constantes de água levam para infiltrar no solo, podendo esses volumes variar de 70 a 250 mL, dependendo da taxa de infiltração, a fim de evitar uma carga hidráulica e consequente fluxo forçado no solo. A infiltração acumulada é obtida calculando-se a razão entre o volume acumulado e a área do infiltrômetro de anel simples ( $A = 0,018 \text{ m}^2$ ).

Haverkamp et al. (1994) propuseram a seguinte equação para infiltração acumulada para tempos longos:

$$I_{3D} = \left( K_s + \frac{\gamma S_o^2}{r \Delta \theta} \right) t + \frac{S_o^2}{2(K_s)(1-\beta)} \ln \left( \frac{1}{\beta} \right) \quad (9)$$

em que,  $r$  é o raio do infiltrômetro;  $S_o$  é a sorvidade;  $\Delta \theta$  é a variação do conteúdo volumétrico de água no solo;  $\beta$  é uma constante no intervalo ( $0 < \beta < 1$ ), cujo valor é igual a 0,6 (HAVERKAMP et al., 1994), e  $\gamma$  é uma constante teórica, cujo valor é 0,75.

A condutividade hidráulica à saturação do solo ( $K_s$ ) foi obtida por intermédio do ajuste da Eq. 9 aos dados da infiltração acumulada em função do tempo.

Os valores dos parâmetros da curva de retenção, obtidos por meio do ajuste da Eq. 6, e os valores da condutividade hidráulica à saturação do solo ( $K_s$ ) estão apresentados na tabela 1. Os valores de  $\theta_r$  foram considerados iguais a zero, pois, a grande maioria dos trabalhos publicados que apresentam modelos (formulações) para a curva de retenção, considera a umidade residual,  $\theta_r$ , como uma constante empírica ou um parâmetro de ajuste, sem significado físico. Isto se deve ao fato, principalmente, da falta de uma definição precisa para a umidade residual. Portanto, ao invés de fixar um valor para  $\theta_r$

da literatura de um mesmo tipo de solo ou da curva de retenção, muitos trabalhos (ANTONINO et al., 2005; WESSOLEK et al., 1994; WÖSTEN; VAN GENUCHTEN, 1988) têm mostrado que é melhor fixar o valor zero.

Para a realização das medidas de altura da cobertura vegetal (dossel), área foliar e índice de área foliar foram escolhidas 10 plantas ao acaso na área experimental, sendo as medidas realizadas a partir do dia 01 de setembro de 2009 até a colheita, no dia 10 de dezembro de 2009.

As medidas de altura de plantas foram feitas com o auxílio de uma trena, onde se mediu a altura da cobertura vegetal, do nível do solo até a haste principal.

**Tabela 1 - Valores dos parâmetros da curva de retenção da água no solo,  $\theta(h)$ , equação de van Genuchten (1980) e de  $K_s$  para as profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e 1,00 m**

Prof. (m)	$\theta_s$ ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ )	$\alpha$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	n	m	$K_s$ ( $\text{mm d}^{-1}$ )
0,20	0,399	2,365	2,854	0,299	25,23
0,40	0,383	2,390	2,961	0,325	103,02
0,60	0,367	2,383	2,947	0,321	116,84
0,80	0,388	2,373	2,921	0,315	15,34
1,00	0,387	2,371	2,922	0,315	12,89

Para a estimativa da área foliar foi calibrado um modelo baseado nas medidas de comprimento e largura de folha, segundo a equação:

$$AF = C \times L \times f_c \quad (10)$$

em que,  $AF$  é a área foliar,  $\text{m}^2$ ;  $C$  é o comprimento da folha,  $\text{m}$ ;  $L$  é a largura da folha,  $\text{m}$ , e  $f_c$  é o fator de correção. O fator de correção utilizado foi 0,51, obtido por Souza (2006).

Para a determinação da área foliar foram medidas todas as folhas de cada planta, semanalmente, durante o mesmo período de medição da altura de plantas, com o uso de uma régua.

O índice de área foliar foi determinado pela relação entre a área foliar de todas as folhas da planta e a área superficial do solo ocupado pela planta.

$$IAF = \frac{AF}{AS} \quad (11)$$

em que, IAF é o índice de área foliar,  $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ; AF é a área foliar,  $\text{m}^2$ , e AS é a área superficial de solo,  $\text{m}^2$ .

Também foi determinada a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), com a equação de Penman-Monteith, de acordo com Allen et al. (1998). Os dados necessários (temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento, saldo de radiação e fluxo de calor no solo) foram obtidos de uma estação meteorológica automática instalada no centro da área.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1 é apresentada a evolução diária da precipitação pluvial, da irrigação e do conteúdo volumétrico de água no solo nas profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e 1,00 m, durante o período de 11 de agosto de 2009 a 10 de dezembro de 2009.

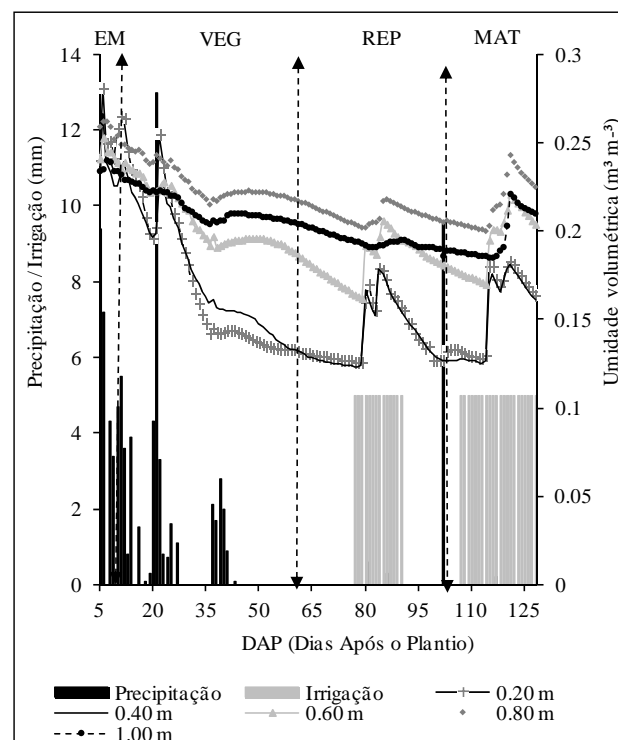
Observa-se que a precipitação pluvial concentrou-se na fase de emergência e até a metade inicial da fase vegetativa, sendo que a partir dos 41 dias após o plantio (14/09/2009) as precipitações praticamente cessaram. De acordo com Távora (1982), a cultura da mamona necessita de, no mínimo, 600 a 750 mm de água durante todo o seu ciclo, de maneira que 400 a 500 mm sejam distribuídos até a floração. A quantidade de água precipitada durante todo o ciclo da mamoneira foi de 89,7 mm e a lâmina total de irrigação foi de 180 mm, perfazendo 269,7 mm, sendo que desse total apenas 79,1 mm foram do plantio até a floração. Esses dados indicam que, apesar da irrigação suplementar ocorrida, a mamona sofreu déficit hídrico.

Observa-se, ainda na figura 1, que o conteúdo volumétrico de água no solo seguiu as variações de precipitação pluvial e irrigação, sendo que as profundidades mais superficiais (0,20 e 0,40 m) possuem maiores variações nos valores de conteúdo volumétrico de água no solo, quando comparadas às camadas mais profundas (0,60; 0,80 e 1,00 m).

A maior oscilação no conteúdo volumétrico de água no solo nas profundidades de 0,20 e 0,40 m deve-se à sua posição em relação às demais; pois, por ser superficial, sofre maior influência de fatores como precipitação, vento, umidade relativa do ar, exploração pelas raízes dos vegetais e a radiação solar, entre outros, que contribuem para a entrada e saída da água neste ambiente.

Na figura 2 é apresentada a evolução da altura de plantas da mamoneira, a área foliar e o índice de área foliar. Observa-se que aos 29 dias após o plantio (DAP) a altura média das plantas foi de 28,5

cm. Aos 50 DAP foi de 46,7 cm, com uma taxa de crescimento médio de  $0,87 \text{ cm d}^{-1}$ .



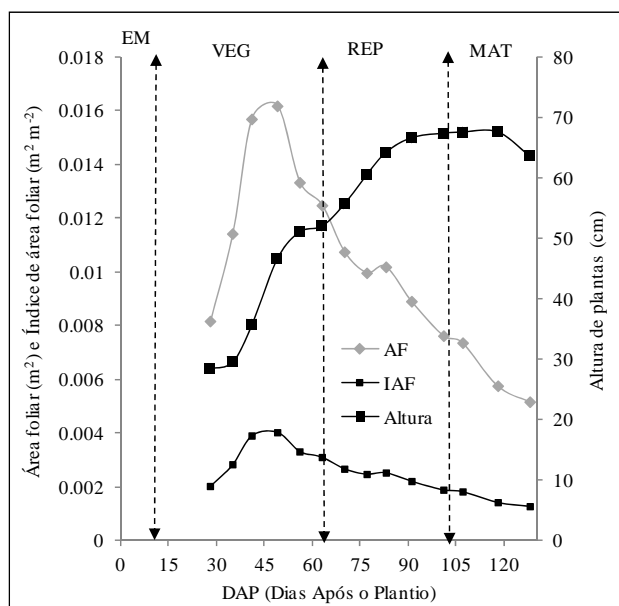
**Figura 1 - Precipitação pluvial, irrigação e conteúdo volumétrico de água no solo durante o período de 09 de agosto a 10 de dezembro de 2009 em Garanhuns-PE (5 a 129 dias após o plantio (DAP)). EM – fase de emergência; VEG – fase vegetativa; REP – fase reprodutiva; MAT – fase de maturação**

A maior altura das plantas foi atingida aos 107 DAP com um valor médio de 67,6 cm, se estabilizando até aos 120 DAP, com um declínio a partir de 129 DAP, com altura média de 65,7 cm. A altura média das plantas, durante todo o período, foi de 55 cm.

Silva (2008), estudando esta mesma variável na cultivar BRS – 188 Paraguaçu, também percebeu que as plantas apresentaram um crescimento contínuo até os 133 DAP declinando após esse período, o que pode ser justificado, de acordo com Beltrão e Souza (2003), pela transferência dos fotoassimilados usados no crescimento para os órgãos reprodutivos.

Quanto à área foliar, observa-se que seu valor máximo ( $0,35 \text{ m}^2$ ) foi obtido aos 49 dias após o plantio, período de maior cobertura do solo. A partir daí a cobertura do solo começa a declinar. O

índice de área foliar (IAF) apresenta comportamento semelhante ao da área foliar.



**Figura 2 - Evolução da altura de plantas, área foliar e índice de área foliar de mamona cultivada em Garanhuns-PE, durante o período de 01 de setembro de 2009 a 10 de dezembro de 2009 (29 a 129 dias após o plantio (DAP)).** EM – fase de emergência; VEG – fase vegetativa; REP – fase reprodutiva; MAT – fase de maturação

Na tabela 2 são apresentados os componentes do balanço hídrico do solo durante os 13 subperíodos de avaliação, desde o plantio até a colheita da mamona. Pela análise da tabela 2 observa-se que os subperíodos 1 e 2 apresentaram os maiores volumes de precipitação pluvial.

Observa-se, também, que a variação do armazenamento de água no solo ( $\Delta A$ ) seguiu as variações da precipitação e irrigação. O  $\Delta A$  apresentou uma oscilação de -32,6 a +27,6 mm, o que mostra que, em determinados períodos, ocorreu perda de água, isto é, as perdas por drenagem profunda (D) e seu consumo pela cultura e a evaporação da água diretamente da superfície do solo (ET) foi superior à quantidade fornecida ( $P + I$ ), e em outros períodos ocorreu ganho de água. A variação do armazenamento de água no solo, considerando-se todo o período de estudo, foi igual a -61,0 mm.  $\square A$  corresponde ao saldo de água no solo, se no intervalo de tempo considerado, as entradas de água no volume de solo (precipitação, irrigação e ascensão capilar)

forem maiores que as saídas (evapotranspiração e drenagem) o  $\Delta A$  será positivo (isto apenas ocorreu nos subperíodos de 18/10 a 27/10/2009 e de 27/11 a 06/12/2009), caso contrário o  $\Delta A$  será negativo (isto ocorreu nos outros subperíodos).

**Tabela 2 - Componentes do balanço hídrico em mamona durante o período de 09 de agosto a 10 de dezembro de 2009, em Garanhuns-PE**

Intervalo	P	I	$\Delta A$	Q	ET	ETd
	mm					mm d <sup>-1</sup>
09/08-18/08	42,8	0,0	-7,0	-16,8	33,0	3,3
19/08-28/08	24,0	0,0	-6,4	-11,8	18,6	1,9
29/08-07/09	2,7	0,0	-32,6	-8,1	27,2	2,7
08/09-17/09	9,6	0,0	-2,2	-3,5	8,3	0,8
18/09-27/09	0,0	0,0	-4,6	-3,8	0,8	0,1
28/09-07/10	0,0	0,0	-5,8	-2,4	3,4	0,3
08/10-17/10	0,0	0,0	-5,6	0,3	5,9	0,6
18/10-27/10	0,6	40,0	27,6	-1,7	11,3	1,1
28/10-06/11	0,3	30,0	-17,6	-7,7	40,2	4,0
07/11-16/11	9,5	0,0	-3,2	-4,3	8,4	0,8
17/11-26/11	0,0	40,0	-7,2	-2,2	45,0	4,5
27/11-06/12	0,2	50,0	9,2	-10,3	30,7	3,1
07/12-10/12	0,0	20,0	-5,6	-2,9	22,7	5,7
Total	89,7	180,0	-61,0	-75,1	255,6	2,2

P – Precipitação; I – Irrigação;  $\Delta A$  – Variação no armazenamento; q – Fluxo de água no solo (se positivo, indica ascensão capilar (AC); se negativo, indica drenagem (D)); ET – Evapotranspiração acumulada; ETd – Evapotranspiração diária.

Quando se trata do fluxo de água no solo (ascensão capilar, AC, e/ou drenagem, D) percebe-se que durante todo o período de avaliação foram perdidos 75,1 mm de água por drenagem, o que

representa 27,8% de toda a água fornecida à cultura.

Esses resultados estão de acordo com Silva et al. (2007), que estudaram os componentes do balanço hídrico em mamona na microrregião do Brejo Paraibano, e encontraram que os valores de drenagem foram 23,4% do total de água precipitada. Já Lima et al. (2006a), ao realizarem o balanço hídrico em feijão caupi nas mesmas condições de Silva et al. (2007), encontraram que as perdas de água por drenagem foram de 17,23 mm, o que correspondeu a apenas 4,2% do total de água precipitado.

De acordo com Allen et al. (2011), o termo drenagem e/ou ascensão capilar é um dos de mais difícil medição e uma das principais fontes de erro, quando se determina a ET pelo método do balanço hídrico.

Durante o período de avaliação, a evapotranspiração (ET) teve seus valores mais elevados nos subperíodos 1 (09/08 - 18/08); 9 (28/10 - 06/11); 11 (17/11 - 26/11); 12 (27/11 - 06/12) e 13 (07/12 - 10/12), em virtude dos maiores valores de precipitação pluvial ou irrigação, especialmente no subperíodo 13 haja vista compreender apenas quatro dias.

Cruz et al. (2005), avaliando a quantidade de água consumida na cultura de citros, afirmam que o fato da ocorrência de maiores taxas de evapotranspiração, quando ocorrem as maiores taxas de precipitação pluvial ou irrigação, é devido a maior transpiração e evaporação nas camadas superficiais até os 40 cm de profundidade.

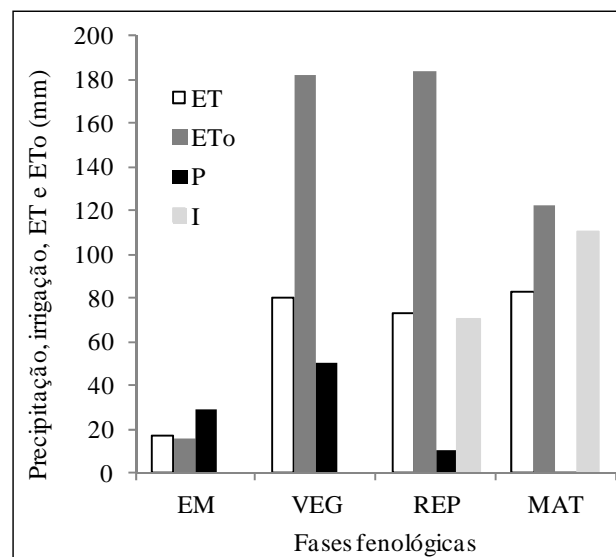
Prevedello et al. (2007), estudando o consumo de água na cultura de trigo, inferiram que a adição de água ao sistema tem importante efeito no armazenamento de água no solo, contribuindo diretamente para o aumento nas taxas evapotranspirativas.

Diante disso, é possível admitir que uma irrigação mais eficiente poderia favorecer o desenvolvimento da cultura, haja vista que haveria um aumento na disponibilidade de água no solo e, consequentemente, a garantia de níveis evapotranspirativos mais altos, o que, por sua vez, é um fato agromomicamente desejável, com impacto positivo no desenvolvimento vegetativo e produtividade da mamona.

O valor total de ET foi de 255,6 mm e o valor médio foi de 2,2 mm d<sup>-1</sup>. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Souza (2006), que estimou a evapotranspiração da mamona pelo método do balanço hídrico em Areia – PB, e encontrou

que a ET média, para todo ciclo da mamona, foi de 2,31 mm d<sup>-1</sup>.

A evapotranspiração real (ET), de referência (ET<sub>o</sub>), a precipitação pluvial (P) e a irrigação (I) acumulada, em cada uma das fases fenológicas da mamona, são apresentadas na figura 3.



**Figura 3 – Evapotranspiração real (ET), evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), precipitação pluvial (P) e irrigação (I) durante as diferentes fases fenológicas da mamona em Garanhuns-PE. EM – fase de emergência; VEG – fase vegetativa; REP – fase reprodutiva; MAT – fase de maturação**

Observa-se que os valores de ET seguiram as variações da precipitação pluvial e da irrigação, além de, como já explicado, foram observados os maiores valores de ET nos períodos de maior disponibilidade hídrica no solo. No entanto, nas fases vegetativa e reprodutiva, os valores de ET são consideravelmente menores que os valores de ET<sub>o</sub>.

Dividindo-se o número de dias de cada fase fenológica pela evapotranspiração total, obtêm-se os valores médios diários de ET e ET<sub>o</sub> em cada fase fenológica (Tabela 3).

Observa-se que os maiores valores diários de ET ocorreram nas fases de emergência e maturação, com 2,88 e 3,17 mm d<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses maiores valores nessas fases podem ser explicados pelos maiores valores de precipitação pluvial e irrigação.

Já os valores de ET<sub>o</sub> foram maiores nas fases reprodutiva e de maturação, com 4,83 e 4,90 mm d<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses maiores valores nessas fases

são devido a época do ano (meses de novembro e dezembro), que é caracterizada por uma demanda atmosférica mais elevada. De acordo com Borges Júnior et al. (2012), a ETo nesses meses na microrregião de Garanhuns é em torno de 4,7 mm d<sup>-1</sup>, o que está de acordo com os dados observados nesse trabalho (Tabela 3).

**Tabela 3 - Valores médios diários da evapotranspiração real (ET), de referência (ETo), precipitação pluvial (P), relação ET/ETo e irrigação (I) nas diferentes fases fenológicas da mamona**

Fase fenológica	ND	ET	ETo	ET/E To	P	I
				mm d <sup>-1</sup>		
Emergência	6	2,88	2,57	1,12	4,83	0,00
Vegetativa	52	1,52	3,50	0,43	0,95	0,00
Reprodutiva	38	1,87	4,83	0,39	0,27	1,84
Maturação	25	3,17	4,90	0,65	0,01	4,40

ND – número de dias

Tanto na fase de emergência quanto na fase de maturação, os maiores valores de ET devem ser oriundos da evaporação direta da água do solo, uma vez que na fase de emergência o solo encontrava-se praticamente desnudo e na fase de maturação ocorre um decréscimo da transpiração da cultura, causada pela senescência das folhas, conforme se observa na figura 2, pela redução do IAF, e pelo início da maturação. Dessa maneira, o maior consumo de água pela mamona ocorreu na fase reprodutiva, onde houve uma ET média de 1,87 mm d<sup>-1</sup>. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Lima et al. (2006a) que, avaliando o consumo de água na cultura do feijão caupi, observaram que a transpiração das plantas foi maior nos períodos de maior disponibilidade hídrica e o maior consumo de água ocorreu na fase reprodutiva.

De acordo com Fontana et al. (1991), a relação entre ET e ETo pode indicar se a cultura está sofrendo estresse hídrico, uma vez que essa relação expressa o consumo relativo de água. A razão ET/ETo inclui, além da disponibilidade de água no solo, também a demanda evaporativa da atmosfera (ETo). Desse modo, observa-se na tabela 3 que na fase reprodutiva a mamona sofreu estresse hídrico, uma vez que a relação ET/ETo ficou bem abaixo de 1 (0,39).

Além disso, para a maioria das culturas, na ausência de déficit hídrico, a razão ET/ETo tem

valores próximos da unidade na fase reprodutiva. Já quando ocorre déficit hídrico, esses valores são bem abaixo da unidade. Nesse sentido, Rios et al. (2011) encontraram valores de ET/ETo de 0,87 para a cultura da mamona cultivada sob condições de irrigação, sem déficit hídrico, em Lavras, MG. Já Centeno et al. (2012) encontraram valor de 1,1, para a mamona sob condições irrigadas em Senhor do Bonfim, BA. Os resultados destas pesquisas, sob condições de não déficit hídrico, corroboram o fato de que na nossa pesquisa a mamona sofreu déficit hídrico na fase reprodutiva.

Vale ressaltar que os resultados dessa pesquisa, referente a um único ciclo produtivo da mamona, não podem ser extrapolados para outras condições climáticas, como por exemplo, localidades com precipitações mais elevadas. Pois, como se observa dos dados da figura 1 e das tabelas 2 e 3, o período de cultivo da mamona foi caracterizado por apresentar baixos valores de precipitação e de conteúdo volumétrico de água no solo, além de pequenos valores de ET e da razão ET/ETo, indicando déficit hídrico. É de se supor que, em caso de maiores valores de precipitação e de conteúdo volumétrico de água no solo, a mamona apresentaria valores mais elevados de evapotranspiração, e provavelmente, pelo tipo de solo da pesquisa (Latossolo Amarelo), maiores valores de drenagem profunda.

## CONCLUSÕES

1. A evapotranspiração acumulada da mamona foi de 255,6 mm e teve um valor médio de 2,2 mm d<sup>-1</sup>, sendo maior nos períodos de maior disponibilidade de água no solo;
2. O fluxo de água na base do solo (ascensão capilar, AC, e/ou drenagem, D), ocorreu predominantemente no sentido descendente, sendo perdidos 75,1 mm de água por drenagem, o que representa 27,8% de toda a água fornecida à cultura;
3. Em relação ao consumo de água (ET) pela mamona nas diferentes fases fenológicas, observou-se que o maior consumo ocorreu na fase reprodutiva (1,87 mm d<sup>-1</sup>);
4. A mamona sofreu estresse hídrico, na fase reprodutiva, tendo em vista os baixos valores de área foliar e índice de área foliar encontrados, além dos valores da relação ET/ETo serem bem abaixo de 1 nesta fase.
5. Tendo em vista os resultados serem de um único ciclo produtivo da mamona, a variabi-



lidade do clima e consequentemente do armazenamento de água no solo, não são contemplados nos resultados dos componentes do balanço hídrico encontrados nesta pesquisa.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Senhor Antonio Carlos, proprietário da Fazenda Estivas, pela cessão da área experimental; ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica ao primeiro autor e de Produtividade em Pesquisa aos quarto e sétimo autores; e a PRPPG/REUNI/PROAD/UFRPE pelo apoio financeiro, por meio do Edital 01/2009 Universal Rural.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management*, v. 98, n. 6, p. 899-920, 2011.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration - guidelines for predicting crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and drainage paper, 56).
- ANTONINO, A. C. D.; HAMMECKER, C.; MONTENEGRO, S. M. L. G.; NETTO, A. M.; ANGULO-JARAMILLO, R.; LIRA, C. A. B. O.. Subirrigation of land bordering small reservoirs in the semi-arid region in the Northeast of Brazil: Monitoring and Water balance. *Agricultural Water Management*, v. 73, n. 2, p. 131-147, 2005.
- AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R. Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil. *Agricultural Water Management*, v. 58, n. 3, p. 241-254, 2003.
- BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA J. G. Estresse hídrico (deficiência e excesso) e seus efeitos no crescimento inicial da mamoneira, cultivar BRS 188 Paraguaçu. *Revista de Oleaginosas e Fibras*, v. 7, n. 213, p. 735-741, 2003.
- BERTOZZO, F.; LARA, A. C. C.; ZANOTTO, M. D. Melhoramento genético da mamona visando incremento de flores femininas. *Bragantia*, v. 70, n. 2, p. 271-277, 2011.
- BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANJOS, R. T.; SILVA, T. J. A.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, C. L. T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 4, p. 380-390, 2012.
- BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L.; GHIERTO, P. J. Componentes do balanço de água no solo com cana-de-açúcar, com e sem adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 2, p. 295-303, 2009.
- BURDINE, N. T. Relative permeability calculation from size distribution data. *Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineering*, v. 198, p. 71-78, 1953.
- CENTENO, C. R. M.; AZEVEDO, C. A. V.; SANTOS, D. B.; LIRA, V. M.; SANTOS, J. B. Determinação do coeficiente de cultivo da mamona BRS energia irrigada com água salina. *Revista Verde*, v. 7, n. 4, p. 147-153, 2012.
- COSTA, M. N.; PEREIRA, W. E.; BRUNO, R. L. A.; FREIRE, E. C.; NÓBREGA, M. B. M.; MILANI, M.; OLIVEIRA, A. P. Divergência genética entre acessos e cultivares de mamoneira por meio de estatística multivariada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n. 11, p. 1617-1622, 2006.
- CRUZ, A. C. R.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A.; ROCHA, G. C. Balanço de água em volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citrus. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 1, p. 1-10, 2005.
- DINIZ NETO, M. A.; TÁVORA, F. J. A. F.; CRISÓSTOMO, L. A.; DINIZ, B. L. M. T. Adubação NPK e épocas de plantio para mamoneira. I – Componentes da produção e produtividade. *Revista Ciência Agronômica*, v. 40, n. 4, p. 578-587, 2009.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; LAUSCHNER, M. H.; MELLO, R. W. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 3, p. 399-403, 2001.

GOUVEIA NETO, G. C.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, J. M.; SOUZA, C.; SILVA, I. F. Estimativa da evapotranspiração da mamona e seus componentes (evaporação e transpiração) na microrregião do Brejo Paraibano. *Irriga*, v. 16, n. 3, p. 246-258, 2011.

HAVERKAMP, R.; ROSS, P. J.; SMETTEM, K. R. J.; PARLANGE, J. Y. Three dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer. 2. Physically based infiltration equation. *Water Resources Research*, v. 30, n. 11, p. 2931-2935, 1994.

KOURI, J.; SANTOS, R. F.; SANTOS, J. W. Evolução da cultura da mamona no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. *Anais...* Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 2004. 1 CD.

LIBARDI, P. L. *Dinâmica da água no solo*. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 2000.

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; ANDRADE, A. P.; SOUZA, C.; SOARES, W. A.; SOUZA, E. S.; SILVA, I. F. Comparação da sonda de nêutrons e de sensores tipo TDR para a determinação dos componentes do balanço hídrico no solo e evapotranspiração do feijão caupi. *Agropecuária Técnica*, Areia, v. 27, n. 1, p. 21-29, 2006b.

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. A.; SOUZA, E. S.; LIRA, C. A. B. O. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 1, n. único, p. 89-95, 2006a.

MOROKKE, T. S.; SCHWARTZ, R. C.; BROWN, K. W.; JUO, A. S. R. Water use efficiency of dryland cowpea, sorghum and sunflower under reduced tillage. *Soil & Tillage Research*, v. 112, n. 1, p. 76-84, 2011.

OLIVEIRA, N. T.; CASTRO, N. M. R.; GOLDENFUM, J. A. Influência da palha no balanço hídrico em lisímetros. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15, n. 2, p. 93-103, 2010.

PREVEDELLO C. L.; MAGGIOTTO, S. R.; LOYOLA, J. M. T.; DIAS, N. L.; BEPLER NETO, G. Ba-

lanço de água por aquisição automática de dados em cultura de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 1, p. 1-8, 2007.

RIOS, G. F. A.; CARVALHO, L. G.; MAGINA, F. C.; CASTRO NETO, P.; SILVA, B. M.; ANTÔNIO C.; FRAGA, A. C. Consumo hídrico e coeficiente de cultura da mamoneira na microrregião de Lavras, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 12, p. 1275-1282, 2011.

SILVA, J. J. N. *Caracterização edafoclimática em um cultivo de Mamona (*Ricinus communis* L.) em vale aluvial no Agreste de Pernambuco*. 2008. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

SILVA, J. M.; LIMA, J. R. S.; GOUVEIA NETO, G. C.; SOUZA, C.; SILVA, I. F.; ANTONINO, A. C. D.; NÓBREGA, J. A. Balanço hídrico na cultura da mamona, sob condições de sequeiro, no Brejo Paraibano. *Revista Educação Agrícola Superior*, v. 22, n. 1, p. 57-59, 2007.

SOUTO, K. C.; SICSÚ, A. B. A cadeia produtiva da mamona no estado da Paraíba: uma análise Pós-Programa do Biodiesel. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 42, n. 1, p. 183-210, 2011.

SOUZA, A. S.; TÁVORA, F. J. A. F.; PITOMBEIRA, J. B.; BEZERRA, F. M. L. Épocas de plantio e manejo da irrigação para a mamoneira. I - componentes de produção. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 4, p. 414-421, 2007a.

SOUZA, A. S.; TÁVORA, F. J. A. F.; PITOMBEIRA, J. B.; BEZERRA, F. M. L. Épocas de plantio e manejo da irrigação para a mamoneira. II - crescimento e produtividade. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 4, p. 422-429, 2007b.

SOUZA, C. *Balanço hídrico em solo cultivado com mamona (*Ricinus communis* L.) no Brejo Paraibano*. 2006. 70 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo e Água) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; ÂNGULO-JARAMILLO, R.; NETTO, A. M. Caracterização hidrodinâmica de solos: Aplicação do método Beerkan. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 2, p. 128-135, 2008.

TÁVORA, F. J. A. *A cultura da mamona*. 1. ed. Fortaleza: Epac, 1982. 111 p.

van GENUCHTEN, M. Th. Van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

WESSOLEK, G.; PLAGGE, R.; LEIJ, F. J.; van GENUCHTEN, M. Th. Analysing problems in describing field and laboratory measured soil hydraulic properties. *Geoderma*, v. 64, n. 1-2, p. 93-110, 1994.

WÖSTEN, J. H. M.; van GENUCHTEN, M.Th. Using texture and other soil properties to predict the unsaturated soil hydraulic functions. *Soil Science Society of America Journal*, v. 52, p. 1762-1770, 1988.

### **Water Use In Castor Bean Cultivation By Water Balance In The South Agreste Region Of Pernambuco, Brazil**

#### **ABSTRACT**

Evapotranspiration (ET) is one of the most important components of the hydrological cycle and there are several methods for its quantification, such as water balance. This method allows monitoring water relations during different phenological stages of the crop, which is very important for the proper management of water resources. The water balance components (evapotranspiration, variation of the water storage in the soil, drainage, capillary rise, rainfall and irrigation) were determined for an Oxisol cultivated with castor beans (variety BRS-149 Northeastern). The experiment was conducted in a 9 ha area at Estivas farm, located in the municipality of Garanhuns, PE (8° 53' S, 36° 31' W, and 823 m). In order to determine the water balance components, the area was instrumented with sensors for measuring soil water content at the depths of 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 and 1.00 m, and with an automated rainfall gauge. Infiltration tests were performed for determining the saturated soil hydraulic conductivity. The soil-water retention curve was determined in the laboratory. Furthermore, the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) was determined, with data from a weather station located in the center of the experimental area. It was observed that the water flow at the base of the soil profile (capillarity rise AC and/or drainage, D), throughout the trial period occurred predominantly in the downward direction, 75.1 mm of water being lost by drainage, which accounted for

27.8% of the water supplied to the castor beans. ET during the castor bean cycle was 255.6 mm, with the average value of 2.2 mm d<sup>-1</sup> and it followed the variation of rainfall and irrigation. Total and average values of ET<sub>o</sub> were 503.0 mm and 4.06 mm d<sup>-1</sup>, respectively. In relation to water consumption (ET) by castor at different phenological stages, it was found that the highest values of ET occurred at the reproductive stage (1.87 mm d<sup>-1</sup>), however, at the same stage the average value of ET<sub>o</sub> was 4.83 mm d<sup>-1</sup>. Thus, probably, the castor beans must have suffered water stress at this stage, given the low values of ET/ET<sub>o</sub> ratio (0.39) and leaf area and leaf area index found.

**Keywords:** *Ricinus communis* L. Water budget. Evapotranspiration.