

CONSUMO HÍDRICO E COEFICIENTE DE CULTIVO DA MAMONEIRA, CULTIVAR BRS ENERGIA

JOSÉ MARCELO DIAS¹; PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO²; JOSÉ RENATO
CORTEZ BEZERRA³; NAPOLEÃO ESBERARD DE MACÊDO BELTRÃO³;
GERALDO DOS SANTOS OLIVEIRA³ E MARIA IDALINE PESSOA CAVALCANTI⁴

¹Embrapa Produtos e Mercado, marcelo.dias@embrapa.br,

²Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – UFCG, pvieira@dca.ufcg.edu.br.

³Embrapa Algodão, jose.cortez-bezerra@embrapa.br; geraldololiveira@embrapa.br.

⁴Centro de Ciências Agrárias – UFPB, idalinepessoa@hotmail.com.

1 RESUMO

O presente trabalho objetivou a determinação das exigências hídricas da mamoneira cultivada sob irrigação. Os experimentos de campo foram conduzidos na Estação Experimental da Embrapa Algodão, localizada em Barbalha – CE, nos anos de 2005 e 2006. A cultivar utilizada foi a BRS Energia, de ciclo precoce e porte baixo com 107 dias de ciclo, composto de 5 fases fenológicas: I - Germinação até 10% de cobertura do solo; II - Até inflorescência do 1º cacho; III - Até inflorescência do 2º cacho; IV - Maturação do 1º cacho; V - Maturação do 2º cacho, em uma área de 1 hectare. A estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c), para as diferentes fases fenológicas, foi obtida pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen. O coeficiente de cultivo (K_c) foi obtido pela relação entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o), estimada pelo método FAO-Penman-Monteith. A evapotranspiração média para os dois anos de cultivo foi de 565,1 mm, com um consumo mínimo de 47,4 mm na fase I e um máximo de 212,3 mm na fase IV. Os valores médios de K_c por fase fenológica foram de 0,74; 0,93; 1,00; 1,18 e 0,92. O K_c pode ser definido em função dos dias após a emergência, pela equação $K_c = -0,0001DAE^2 + 0,016DAE + 0,556$.

Palavras-chave: *Ricinus communis*, evapotranspiração, razão de Bowen.

DIAS, J. M.; AZEVEDO, P. V. de; BEZERRA, J. R. C.; BELTRÃO, N. E. de M.;
OLIVEIRA, G. dos S.; CAVALCANTI, M. I. P.
WATER CONSUMPTION AND CROP COEFFICIENT OF CASTOR BEAN CROP,
CV. BRS ENERGIA

2 ABSTRACT

The objective of this study was to determine water requirement of castor bean under irrigation. Field experiments were conducted at the Experimental Station of Cotton Embrapa in Barbalha city, Ceará State, Brazil in 2005 and 2006. With early maturity and low height, cv. BRS Energia was used, 107-day cycle, consisting of five phenological phases: I- germination up to 10% soil covering; II- up to inflorescence of the first bunch; III- up to inflorescence of the second bunch; IV- up to maturation of the first bunch; V- up to maturation of the second bunch, in 1 hectare area. The estimate of crop evapotranspiration for the phenological phases throughout the crop

cycle was obtained by the Bowen-ratio energy balance. Crop coefficient (K_c) was obtained by the ratio between crop evapotranspiration (E_{tc}) and reference evapotranspiration (E_{To}), estimated by the FAO-Penman-Monteith method. The mean evapotranspiration for the 2 year-cultivation period was 565.1 mm, being 47.4 mm minimum consumption in phase I and 212.3 mm maximum consumption in phase IV. Mean values of K_c by phenological phase were 0.74; 0.93; 1.00; 1.18 and 0.92. K_c was defined as a function of days after emergence (DAE) by the equation $K_c = -0.0001DAE^2 + 0.016DAE + 0.556$.

Keywords: *Ricinus communis*, evapotranspiration, Bowen ratio.

3 INTRODUÇÃO

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma oleaginosa que apresenta uma grande capacidade de adaptação aos diversos tipos de solo e clima (LOPES et al., 2008), e destacada importância no Brasil e no mundo em decorrência da vasta aplicabilidade de seu óleo em vários segmentos da indústria química e de cosméticos, em virtude de suas características especiais (FERREIRA; MARUYANA; SORATTO, 2009).

A produção da cultura no semiárido brasileiro decorre de suas características de resistência à seca (SOUSA; ROMÃO JUNIOR; XIMENES, 2009; SEVERINO et al., 2012) e por ser viável em áreas onde poucas culturas podem ser tecnicamente recomendadas (LIMA et al., 2007). Com um teor de óleo de aproximadamente 48% (QUEIROGA; SANTOS, 2008), apresenta-se com boas perspectivas para transformação em biodiesel, com potencial para gerar milhares de empregos no campo. Do fruto da mamoneira, obtém-se, como produto principal, o óleo cujo conteúdo é condicionado às condições ambientais (KOUTROUBAS; PPAKOSTA, DOITSINIS, 2000) e, como subproduto, a torta de mamona com capacidade de recuperar áreas com a fertilidade degradada, podendo ainda, ser usada para a alimentação animal após a desintoxicação, em decorrência do seu alto valor proteico (QUEIROGA; SANTOS, 2008), possuindo ainda, efeito nematocida (BARROS JÚNIOR et al., 2008).

No contexto nacional, a região Nordeste é a principal produtora de mamona, sendo responsável por mais de 90% da produção Nacional. Entretanto, essa cultura pode ser cultivada em outras regiões do país, particularmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Ambientes com altas precipitações e muito úmidos, como a Amazônia e o Pantanal, não são adequados para o plantio da mamona (SEVERINO et al., 2006).

No semiárido brasileiro, a mamoneira é cultivada tradicionalmente em condições de sequeiro, principalmente no estado da Bahia, maior produtor nacional, com relevante importância social e econômica, principalmente para a agricultura familiar. Além da área de sequeiro, o cultivo da mamona poderá ocupar espaços como contribuição de safrinhas em sucessão de culturas e com colheita mecanizada em sistemas de rotação de culturas em áreas irrigadas, com a possibilidade de se obter elevadas produtividades. Para a obtenção de altos rendimentos e maior eficiência no uso de água, faz-se necessário o conhecimento das necessidades hídricas da cultura, de modo a oferecer às plantas, a quantidade de água necessária no momento oportuno, uma vez que a umidade condiciona os processos metabólicos e fisiológicos das plantas (AZEVEDO; SILVA; SILVA, 2003).

Embora a mamona possa produzir em condições de baixa disponibilidade de água, um adequado suprimento de água poderá proporcionar altos rendimentos, particularmente com genótipos com alto potencial produtivo (SEVERINO et al., 2012). Para se desenvolver, crescer e produzir satisfatoriamente, a mamoneira necessita de suprimento hídrico diferenciado nas

suas fases fenológicas e requer manejo compatível com sua capacidade de retirada de água na zona de ocupação das raízes, evitando desperdícios de água e saturação do perfil do solo na área de cultivo (BARRETO, 2004). Portanto, o conhecimento da evapotranspiração da cultura (ETc) e do coeficiente de cultivo (Kc), durante seu ciclo, é de grande importância para otimização do manejo da irrigação, assegurando uma melhor eficiência no uso de água pela cultura.

A aplicação da lâmina de irrigação, na quantidade correta e no momento adequado, é de fundamental importância para a maximização da produtividade das culturas irrigadas. Por isso, o estabelecimento da evapotranspiração da cultura deve ser feito de forma criteriosa, a fim de proporcionar um correto dimensionamento do sistema de irrigação. A suplementação hídrica quando feita via irrigação (parcial ou total) em uma determinada região, depende basicamente, da demanda evapotranspirativa local. A superestimativa das necessidades de irrigação das culturas conduz a um desperdício da água, aumentando custos e criando outros problemas ao meio ambiente. Assim, para uma melhor gestão dos recursos hídricos deve-se otimizar a eficiência e a precisão da programação de irrigação, o que implica em tentar aproximar as estimativas de consumo de água das plantas às suas necessidades reais.

No Brasil, alguns estudos (ÁVILA NETTO et al., 2000; LOPES et al., 2001; AZEVEDO et al., 2006; SILVA; AZEVEDO; SILVA, 2007; BEZERRA et al., 2010a; BEZERRA et al., 2010b, AZEVEDO; BEZERRA; SILVA, 2012; BEZERRA et al., 2012; AMAZONAS et al., 2014) têm feito uso do método da razão de Bowen na estimativa da evapotranspiração de culturas e de outras superfícies vegetadas. Entretanto, são poucas as informações sobre o consumo hídrico da cultura da mamona irrigada. Neste sentido, a presente pesquisa objetivou a determinação das exigências hídricas da mamoneira cv. BRS Energia, em seus diferentes estádios fenológicos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental da Embrapa Algodão localizada no município de Barbalha-CE (latitude 7° 19' S, longitude 30° 18' W, altitude de 415,74 m), em condições de campo, nos períodos de 02 de setembro a 16 de dezembro e de 24 de agosto a 09 de dezembro, para os anos de 2005 e 2006, respectivamente. De acordo com a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), o município possui clima do tipo C1S2A'a'. Trata-se de um clima seco, subúmido, com grande excesso hídrico no inverno, megatérmico e com vegetação durante todo o ano e apresenta as seguintes médias climatológicas: precipitação = 1.001,4 mm; temperatura = 25,2 °C; evapotranspiração potencial = 2.288,6 mm; unidade relativa = 63,6% e insolação = 2.848,0 horas.

O estudo foi realizado com a cultura da mamona, cv. BRS Energia, de ciclo precoce com 120 dias até a colheita, sob regime de irrigação, plantada em fileiras simples em uma área de 1 ha, com espaçamento de 0,60 x 0,37m, correspondendo a uma população aproximada de 45.000 plantas por hectare.

As irrigações foram efetuadas utilizando-se um sistema de irrigação por aspersão, calculando-se as lâminas de irrigação para umedecer o perfil do solo até a profundidade de 0,60m, que corresponde ao perfil de solo ocupado pelo sistema radicular da cultura. A irrigação que antecedeu o plantio da cultura, foi efetuada de modo a levar o solo à capacidade de campo. Após o plantio, as irrigações de reposição foram efetuadas em função do consumo semanal estimado com base no balanço de energia, utilizando-se a razão de Bowen. Durante a execução dos experimentos, a precipitação ocorrida foi coletada em um pluviômetro instalado na estação meteorológica do INMET, situado dentro da área experimental da Embrapa.

O preparo do solo constou de uma aração com arado escarificador seguido de duas gradagens utilizando-se grade niveladora. A adubação de fundação foi de 55-40-20 e 55-40-10 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, para os anos de 2005 e 2006, respectivamente. Utilizou-se como fontes de nutrientes o sulfato de amônio, o superfosfato triplo e o cloreto de potássio, aplicando-se a dose total de fósforo, um terço do nitrogênio e do potássio. A adubação de cobertura foi efetuada aos 15 e 30 dias após a emergência, aplicando-se o restante da dose recomendada de nitrogênio e potássio, sob a forma de uréia e cloreto de potássio, respectivamente.

Três capinas manuais foram efetuadas visando manter a lavoura livre de plantas daninhas durante os primeiros sessenta dias após a emergência. A colheita foi manual e realizada em duas etapas: a primeira quando o primeiro cacho estava completamente seco e a segunda quando os demais cachos atingiram o mesmo ponto. O solo predominante na área experimental pertence à classe dos Neossolos Flúvicos, formados a partir de deposições fluviais ao longo dos cursos de água, e são terraços tipicamente planos, apresentando lençol freático elevado e drenagem deficiente.

O ciclo de produção da mamoneira foi dividido em cinco fases fenológicas: I) germinação até 10% de cobertura do solo; II) 10% de cobertura de solo até inflorescência do 1º cacho; III) inflorescência do 1º cacho até inflorescência do 2º cacho; IV) inflorescência do 2º cacho até a maturação do 1º cacho; V) maturação do 1º cacho até a maturação do 2º cacho.

Para a coleta de dados, foi instalada no interior da área experimental, uma torre micrometeorológica em uma posição que permitiu a obtenção de uma bordadura, capaz de eliminar ou diminuir o efeito advectivo. Os sensores utilizados na coleta dos dados foram: dois piranômetros para medição da radiação solar incidente (Rs) e refletida pela cultura (Rr); um saldo radiômetro para medição do saldo de radiação (Rn); dois psicrômetros com termopares de cobre-constantan, (temperaturas de bulbo seco e úmido), e dois anemômetros para medir a velocidade do vento, instalados em dois níveis, 0,20 e 1,90m acima do dossel da cultura; e, dois fluxímetros para medir o fluxo de calor no solo, posicionados a 0,02 m de profundidade do solo, de acordo com as recomendações da Campbell Scientific Inc., posicionados, um dentro da fileira de planta e o outro entre duas fileiras de plantas. As leituras micrometeorológicas dos experimentos foram obtidas e armazenadas por um sistema automático de aquisição de dados (modelo CR 21X, Campbell Scientific Inc.), programado para a varredura a cada cinco segundos e armazenar médias a cada 20 minutos, as médias foram armazenadas em um módulo de memória e, posteriormente, transferidas para um computador, onde foram processadas em planilhas eletrônicas.

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi obtida a partir da equação simplificada do balanço de energia (PEREZ; CASTELLVI; MARTINEZ-COB, 2008):

$$Rn + LE + H + G = 0 \quad (1)$$

Onde o saldo de radiação (Rn), os fluxos de calor latente (LE) e sensível (H) e o fluxo de calor no solo (G) são expressos em W m⁻². Neste processo, as densidades de fluxo que chegam à camada vegetativa são positivas enquanto as que saem, são negativas (SILVA; AZEVEDO; SILVA, 2006). Como volume de controle foi considerado a superfície do solo como limite inferior e o topo da cultura como limite superior do sistema.

A razão de Bowen foi estimada de acordo com a expressão (PEREZ; CASTELLVI; MARTINEZ-COB, 2008):

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{P_0 C_p}{L\varepsilon} \left(\frac{Kh}{Kw} \right) \frac{\partial T / \partial z}{\partial e / \partial z} = \gamma \left(\frac{Kh}{Kw} \right) \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (2)$$

Na ausência de advecção de calor sensível e em condições de neutralidade atmosférica, $Kh \cong Kw$, e considerando que, $\left(\frac{\partial T / \partial z}{\partial e / \partial z} \right) \cong \Delta T / \Delta e$, a razão de Bowen pode ser escrita da seguinte forma (VERMA; ROSEMBERG; BLAD, 1978; CARDOSO et al., 2005):

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3)$$

Em que Kh e Kw são os coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível e vapor d'água, respectivamente ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$); L o calor latente de evaporação da água (MJ Kg^{-1}); C_p o calor específico do ar seco à pressão constante ($\text{MJ Kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$); P_0 a pressão atmosférica média local (kPa); ε a razão entre as massas moleculares da água e do ar seco (0,622); $\Delta T = t_2 - t_1$ e $\Delta e = e_2 - e_1$, são os gradientes de temperatura do ar e da pressão parcial do vapor d'água atmosférico, medidas em dois níveis acima da superfície vegetada; $\Delta z = z_2 - z_1$ e γ o fator psicrométrico ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), obtido através da seguinte equação:

$$\gamma = \frac{C_p P_0}{L\varepsilon} = 0,665 \times 10^{-3} P_0 \quad (4)$$

O fluxo de calor latente foi então obtido como:

$$LE = \frac{Rn - G}{(1 + \beta)} \quad (5)$$

Enquanto que o fluxo de calor sensível foi determinado como resíduo da equação do balanço de energia, como:

$$H = Rn - LE - G \quad (6)$$

Para a obtenção de ETc, em unidades de lâmina de água em um dado intervalo de tempo (mm dia^{-1}), faz-se necessário dividir o valor obtido na equação 5 pelo calor latente de vaporização (L), integrando-se os resultados para o período do dia em que houver energia disponível, ou seja, quando $Rn - G > 0$, conforme o já utilizado por Prueger et al. (1997) e Lopes et al. (2001).

A evapotranspiração de referência (ETo) foi obtida com base no modelo da FAO-Penman-Monteith descrito por Allen et al. (2006):

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (Rn - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (7)$$

Em que: ETo é a evapotranspiração de referência (mm d^{-1}); Rn é o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); T é a temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$); U_2 é a velocidade média diária do vento a 2 m acima da superfície (m s^{-1}); $(e_s - e_a)$ é o déficit de

pressão do vapor d'água ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); Δ é a declinação da curva de saturação do vapor d'água ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

O coeficiente de cultivo (K_c) foi obtido pela relação entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o).

$$K_c = ET_c / ET_o \quad (8)$$

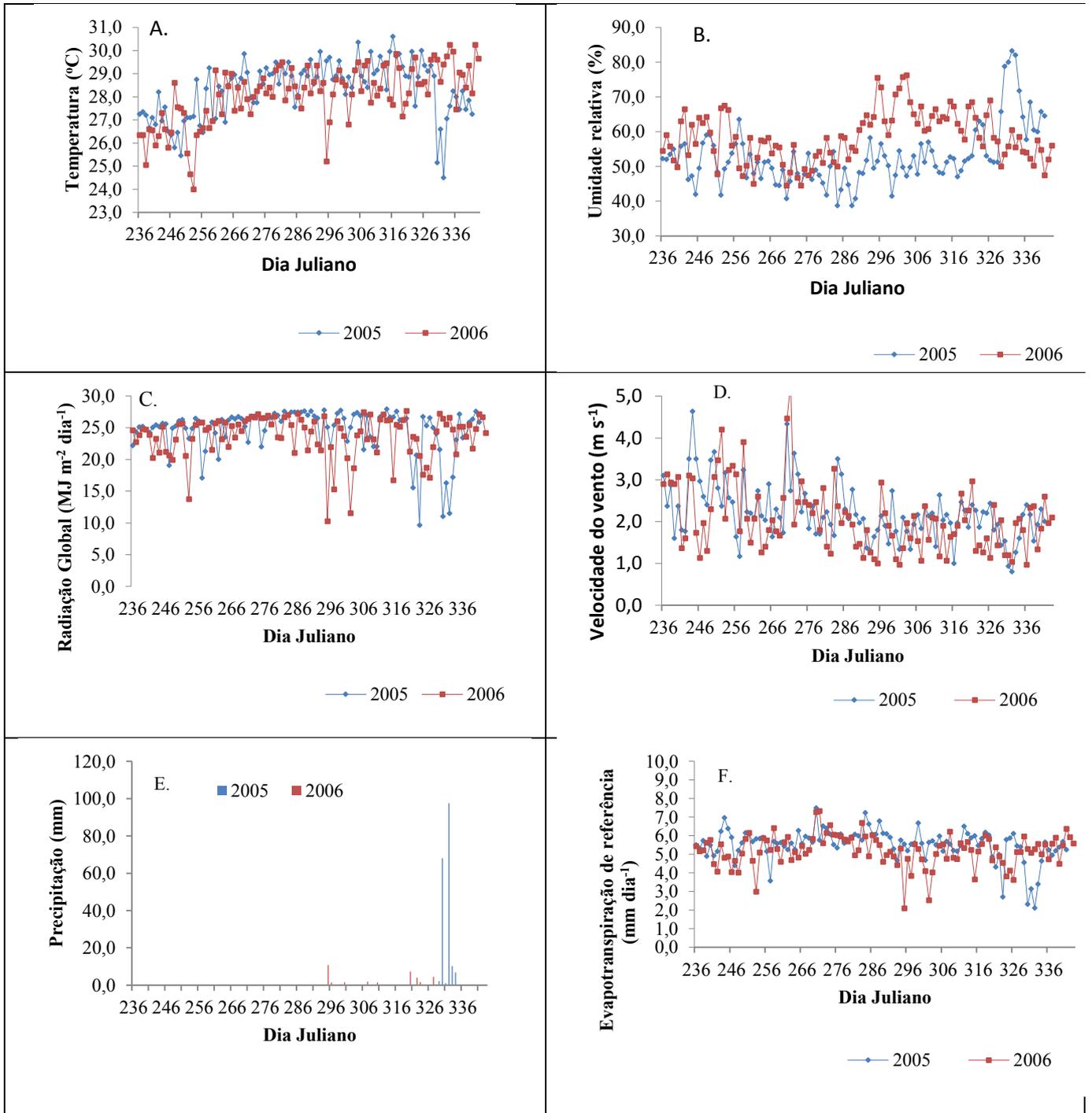
A eficiência de uso da água foi determinada pela relação entre a produtividade da mamona em baga (K_g) e o volume de água aplicado à cultura (m^3), conforme Yazar, Sezen e Sesveren (2002) e Bezerra et al. (2010b):

$$EUA = \frac{P}{V} \quad (10)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os principais elementos climáticos observados durante as campanhas experimentais nos anos de 2005 e 2006 são apresentados na Figura 1.

Figura 1. Variação média da temperatura do ar (A), umidade relativa (B), radiação solar incidente (C), velocidade de vento (D), precipitação (E) e evapotranspiração de referência (F), para os períodos experimentais de 2005 e 2006, no município de Barbalha-CE.



A temperatura média no período de execução dos experimentos (Figura 1, A), para o ano de 2005 foi de 28,3 °C, com máxima 35,1 °C e mínima de 21,6 °C. Em 2006, a temperatura média foi de 28,1 °C, enquanto que a média das máximas foi 35,0 °C e a média das mínimas 21,2 °C. De acordo com dados fornecidos por Brasil (1992), as normais climatológicas de Barbalha-CE (1961 a 1990), para o período de setembro a dezembro são: temperatura média de 26,5 °C, com

máxima de 33,6 °C e mínima de 21,2 °C. Os valores observados encontram-se dentro da faixa de adaptação da cultura, conforme Beltrão e Silva (1999).

Com relação à umidade relativa do ar, no período de execução dos experimentos (Figura 1, B) foram observados valores médios de 52,8% e 58,4%, para os anos de 2005 e 2006, respectivamente, observando-se valores mais acentuados no final do ciclo da cultura em 2005 e durante a fase que vai da inflorescência do 2º cacho a maturação do 1º cacho, no ano de 2006.

A radiação global média (Figura 1, C) para o período do estudo em 2005, foi de 24,6 MJ m⁻² dia⁻¹, com máxima de 27,9 MJ m⁻² dia⁻¹ e mínima de 9,6 MJ m⁻² dia⁻¹. Os baixos valores de radiação global registrados entre 04 e 09 de dezembro de 2005, devem-se ao fato da ocorrência de precipitações e da presença de uma forte nebulosidade. No ano de 2006, a radiação média para o período do estudo foi de 23,7 MJ m⁻² dia⁻¹, com máxima de 27,6 MJ m⁻² dia⁻¹ e mínima de 10,2 MJ m⁻² dia⁻¹.

A velocidade de vento observada no transcorrer dos experimentos (Figura 1, D), foi de 2,2 m s⁻¹ em média, com máxima de 4,6 m s⁻¹ e mínima de 0,8 no ano de 2005. Em 2006, a velocidade média foi de 2,1 m s⁻¹, com valores extremos de 5,3 e 1,0 para as médias de velocidades máximas e mínima, respectivamente, observando que os valores máximos ocorreram até a fase de desenvolvimento vegetativo da cultura, em ambos os anos. Por outro lado, observa-se que os maiores valores de velocidade de vento, coincidem com valores mais elevados da evapotranspiração de referência, demonstrando o efeito deste evento climático sobre a evapotranspiração da cultura, conforme afirmam Allen et al. (2006).

Na Figura 1, E, estão apresentadas as precipitações pluviométricas ocorridas durante a execução dos experimentos, observando-se, no final do ciclo da cultura no ano de 2005, no período entre os dias julianos 338 e 343, uma precipitação de 185,7 mm. Este fenômeno, anormal para a época e associado à variação de outros parâmetros meteorológicos tais como queda na temperatura média do ar, radiação global, e aumento da umidade relativa, provocou alterações significativas na evapotranspiração de referência (Figura 1, F). No ano de 2006, embora a precipitação pluviométrica tenha sido bem menor, durante a realização do experimento, observa-se em diversos pontos, quedas acentuadas em vários parâmetros meteorológicos que afetam a evapotranspiração. Estes baixos valores, conforme dados obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia, ocorreram em dias que, embora não tenha ocorrido chuvas, observou-se uma intensa nebulosidade com reflexo na insolação e portanto, na radiação solar.

Dados da evapotranspiração de referência podem ser observados na Figura 1, F, onde verifica-se um comportamento bastante variável nos valores da evapotranspiração, com médias de 5,5 e 5,2 mm dia⁻¹, para os anos de 2005 e 2006, respectivamente; o valor mínimo observado foi de 2,1 mm dia⁻¹, para os dois anos de realização do trabalho e os valores máximos de 7,5 e 7,3 mm dia⁻¹ para 2005 e 2006, respectivamente. As variações observadas neste trabalho estão estreitamente relacionadas com as variáveis meteorológicas apresentadas na Figura 1, que tem influência direta no processo. De acordo com Allen et al. (2006), os fatores climáticos que afetam a evapotranspiração são radiação solar, a temperatura do ar, a umidade relativa e a velocidade do vento.

O ciclo de produção da mamoneira foi caracterizado em função da ocorrência dos principais processos fisiológicos, sendo dividido em cinco fases fenológicas distintas, de acordo com as observações de campo e caracterizado conforme descritas na Tabela 1. Verificou-se que o período compreendido entre a emergência das plantas e a maturação completa dos racemos de segunda ordem foi de 106 e 108 dias, para os anos de 2005 e 2006, respectivamente.

Tabela 1. Fases fenológicas da mamoneira, cultivar BRS Energia, para os experimentos de 2005 e 2006, em Barbalha-CE.

Fase fenológica	2005		2006	
	Período (DAE)	Número de dias	Período (DAE)	Número de dias
I: Germinação até 10% de cobertura do solo	1-12	12	1-12	12
II: Até inflorescência do 1º cacho	13-37	25	13-37	25
III: Até inflorescência do 2º cacho	38-54	17	38-54	17
IV: Maturação do 1º cacho	55-89	35	55-90	36
V: Maturação do 2º cacho	90-106	17	91-108	18
Total acumulado	-	106	-	108

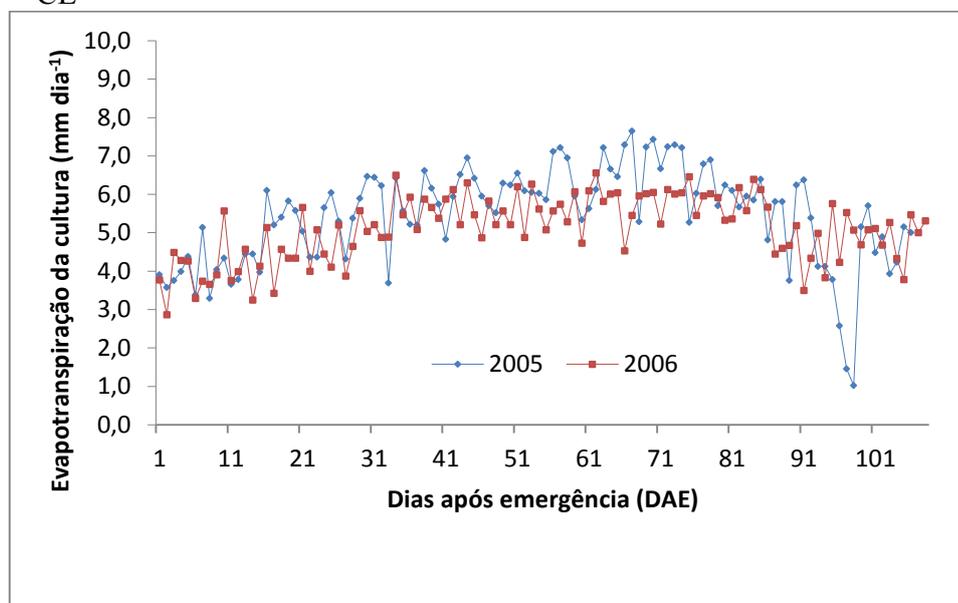
Verificou-se que a Fase I teve duração de 12 dias e correspondeu ao período da emergência das plantas a até, aproximadamente, 10% de cobertura do solo. A Fase II teve duração de 25 dias e correspondeu à fase do desenvolvimento vegetativo, compreendendo ao período entre 10% de cobertura de solo ao início da floração, incluindo-se o período de 5 dias referente ao surgimento dos botões florais, que antecedeu o surgimento das inflorescências. A Fase III correspondeu à fase do início do desenvolvimento reprodutivo, compreendendo desde o início da floração do primeiro cacho ou racemo primário ao surgimento da inflorescência do segundo cacho ou racemo secundário e teve duração de 17 dias. A fase IV se estendeu do final da Fase III até a maturação do racemo primário (1º cacho), com duração de 35 dias para o ano de 2005 e de 36 dias para o ano de 2006. A Fase V, que compreendeu à fase final do ciclo da cultura, compreendeu o período entre a maturação do racemo primário até a maturação completa dos racemos secundários, com duração de 17 e 18 dias, respectivamente, para os anos de 2005 e 2006.

Na Figura 2 é apresentado o comportamento da evapotranspiração diária da cultura ao longo do ciclo de desenvolvimento da mamoneira de ciclo precoce, cv. BRS Energia, estimada pelo método da Razão de Bowen, para os ciclos de cultivo de 2005 e 2006. Observa-se uma grande variação da evapotranspiração diária ao longo do ciclo fenológico da mamoneira, com valores mínimos de 3,3 e 2,9 mm dia⁻¹, para os anos de 2005 e 2006, respectivamente, ambos ocorrendo na fase inicial de crescimento. Os valores máximos verificados foram de 7,7 e 6,6 mm dia⁻¹, para os anos de 2005 e 2006, respectivamente, na fase de desenvolvimento reprodutivo que corresponde a fase de emissão da inflorescência do segundo cacho até a maturação do cacho primário aos 67 e 62 dias após a emergência (DAE). Não foram considerados, para fins de evapotranspiração mínima, os valores observados nos dias 06/12 (2,58 mm.dia⁻¹), 07/12 (1,45 mm.dia⁻¹) e 08/12 (1,02 mm.dia⁻¹), aos 96, 97 e 98 DAE, no ano de 2005, por se tratar de um evento anormal para o período que foi a ocorrência de fortes chuvas durante os três dias, o que acarretou uma forte nebulosidade, ocasionando decréscimos acentuados nos valores de evapotranspiração pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen, em virtude da redução bastante acentuada na radiação global, o aumento na umidade relativa e a baixa velocidade do vento (Figura 1).

Esse comportamento bastante variável da evapotranspiração da cultura também foi observado em estudos realizados com esta metodologia para outras culturas (BEZERRA et al., 2010a; BEZERRA et al., 2010b; TEIXEIRA et al., 2008). Tais variações nos valores diários de ETc estão associados às variações da demanda atmosférica que influenciam o processo (SOUZA et al., 2008; BEZERRA et al., 2012; FARAHANI; OWEIS; IZZI, 2008). Por sua vez,

Blanc; Quirion e Strobl (2008) e Teixeira et. al. (2008) afirmam que o aumento da E_{Tc} decorrente da elevação da demanda evapotranspirativa da atmosfera, dentre outros fatores, é causado pelo aumento da radiação solar global.

Figura 2. Evolução estacional da evapotranspiração diária da mamoneira BRS Energia, estimada pela razão de Bowen, para os experimentos de 2005 e 2006, em Barbalha-CE



Na Tabela 2 são apresentados os valores médios diários e acumulados da evapotranspiração da mamoneira, cv. BRS Energia, por fase fenológica, para os ciclos de cultivo de 2005 (02/09 a 16/12) e 2006 (24/08 a 09/12).

Tabela 2. Valores médios da evapotranspiração da mamoneira, cultivar BRS Energia em suas diversas fases fenológicas, para os experimentos de 2005 e 2006, em Barbalha, CE.

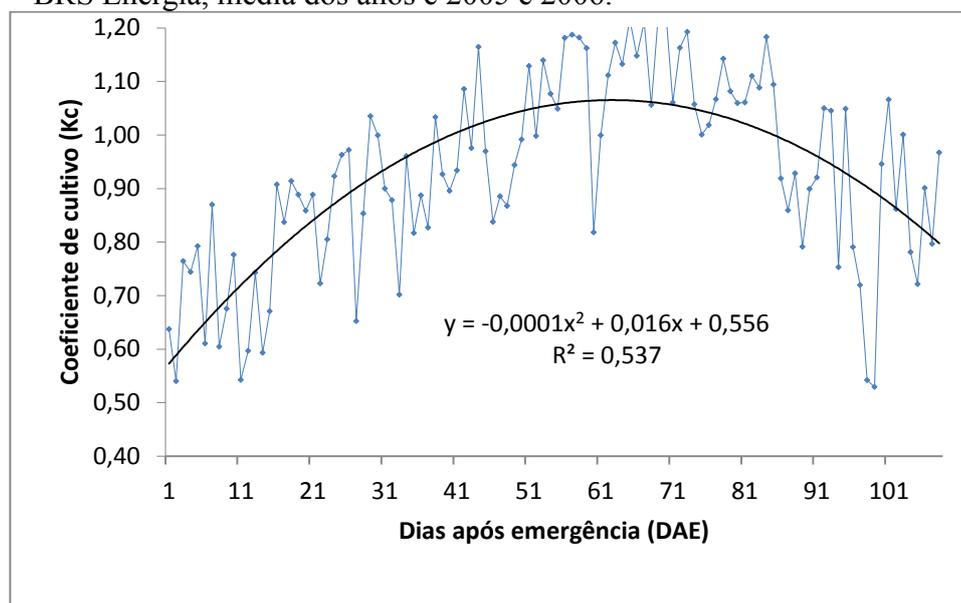
Fase Fenológica	2005		2006	
	ET _c médio (mm d ⁻¹)	ET _c acumulado (mm d ⁻¹)	ET _c médio (mm d ⁻¹)	ET _c acumulado (mm d ⁻¹)
I: Germinação até 10% de cobertura de solo	3,9	47,2	3,9	47,6
II: Até inflorescência do 1º cacho	5,3	132,5	4,8	119,4
III: Até inflorescência do 2º cacho	6,1	103,6	5,6	95,6
IV: Maturação do 1º cacho	6,3	220,9	5,7	203,8
V: Maturação do 2º cacho	4,3	73,6	4,8	85,9
Total acumulado (mm ciclo⁻¹)		577,9		552,3

Para ambos os anos, verifica-se um consumo mínimo diário de 3,9 mm d⁻¹, no início do desenvolvimento vegetativo (Fase I) e um máximo, 6,3 e 5,7 mm d⁻¹ na fase IV, que compreende o período entre o surgimento da inflorescência do segundo cacho e vai até a maturação do primeiro cacho, para os anos de 2005 e 2006, respectivamente. O comportamento da cultura com o consumo hídrico aumentando da fase de desenvolvimento vegetativo até a fase de

desenvolvimento reprodutivo, havendo na fase de maturação uma queda no consumo já foi observado por outros autores para diferentes culturas tais como Azevedo et al. (1993) e Bezerra et al. (2010b) para o algodoeiro, Wrege e Lunardi (2006) para o crisântemo. A evapotranspiração da cultura nos experimentos foi de 577,9 e 552,3 mm (Tabela 2), para os anos de 2005 e 2006, respectivamente, com um consumo mínimo de 47,2 e 47,6 mm (período 12 dias) na fase inicial e um máximo de 220,9 e 203,8 (35 e 36 dias) na fase IV, para os anos de 2005 e 2006, respectivamente.

Os valores médios do coeficiente de cultivo (Kc) da cultura da mamona, cv. BRS Energia ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, nos anos de 2005 e 2006, são apresentados da Figura 3. Observando-se a curva de coeficiente de cultivo ajustado, verifica-se um aumento a partir do início do desenvolvimento da cultura até um valor máximo ocorrendo na fase de desenvolvimento reprodutivo, havendo em seguida um decréscimo até o final do ciclo. De acordo com Allen et al. (2006), os valores de Kc nos estádios fenológicos inicial e desenvolvimento vegetativo apresentam variabilidade diária com tendência crescente ao passo que na fase final de desenvolvimento, apresenta uma curva decrescente.

Figura 3. Coeficiente de cultivo (Kc) e o coeficiente de cultivo ajustado (Kc aj) da mamoneira BRS Energia, média dos anos e 2005 e 2006.



Na Tabela 3, observa-se os valores de coeficiente de cultivo (Kc) médio para as diversas fases fenológicas da mamoneira. O coeficiente de cultivo aumentou da fase inicial de desenvolvimento da cultura (0,74), até a fase da inflorescência do 2º. cacho até a maturação do 1º. cacho (1,18), e então a decresce, com um valor médio de 0,92 na fase final do ciclo. Comportamento semelhante foi observado por Bezerra et al. (2010a) e Bezerra et al. (2010b), para a cultura do algodoeiro e Wrege e Lunardi (2006), para o crisântemo.

Tabela 3. Valores de coeficiente de cultivo (Kc) da mamoneira, cultivar BRS Energia em suas diversas fases fenológicas, para os experimento de 2005 e 2006, em Barbalha, CE.

Fase Fenológica	2005	2006	Média
I: Germinação até 10% de cobertura de solo	0,72	0,76	0,74
II: Até inflorescência do 1º cacho	0,92	0,93	0,93
III: Até inflorescência do 2º cacho	1,00	1,00	1,00
IV: Maturação do 1º cacho	1,17	1,20	1,18
V: Maturação do 2º cacho	0,92	0,91	0,92

O coeficiente de cultivo (Kc) da mamoneira, cv. BRS Energia, pode ainda, ser estimado para qualquer dia de seu ciclo fenológico, pela equação de regressão: $Kc = -0,0001DAE^2 + 0,016DAE + 0,556$, com $R^2 = 0,54$.

A produtividade obtida pela cultura foi de 3.389 e 3.221 kg ha⁻¹, o que proporcionou uma eficiência de uso de água de 0,59 e 0,58 kg m⁻³, para os anos e 2005 e 2006, respectivamente. Estes valores são bastante inferiores aos obtidos por Barros Júnior et al. (2008), para as mamoneiras Nordestina e Paraguaçu, cultivares de ciclo longo em condições de ambiente protegido, cujas eficiências foram de 2,83 e 2,78 kg m⁻³, respectivamente.

6 CONCLUSÕES

Os resultados da avaliação das exigências hídricas da mamoneira irrigada na região de Barbalha-CE permitem concluir que:

A reposição da água consumida estimada pelo método do balanço de energia com base na razão de Bowen supre adequadamente as necessidades hídricas da mamoneira cv. BRS Energia.

O máximo consumo da mamoneira ocorreu na fase de desenvolvimento reprodutivo, na fase da inflorescência do 2º cacho à maturação do 1º cacho, com um consumo médio de 6,0 mm dia⁻¹.

O coeficiente de cultivo (Kc) da cultura pode ser estimado pela equação $Kc = -0,0001 DAE^2 + 0,016DAE + 0,556$, $R^2 = 0,54$

7 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiration del cultivo: guias para la determinacion de los requerimientos de água de los cultivos**. Rome: FAO, 2006. 298 p. (Estudio FAO Riego y Drenage, 56).

AMAZONAS, I. B. do; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. de A.; LIMA, J. R. de S.; MONTENEGRO, S. M G. L. Avaliação da evapotranspiração de pastagem pelo método do domo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 7, n. 4, p. 716-723, 2014.

ÁVILA NETTO, J.; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da; SOARES, J. M.; TEIXEIRA, A. H. C. Exigências hídricas da videira na região do Submédio São Francisco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 35, n. 8, p. 1559-1566, 2000.

AZEVEDO, P. V. de; BEZERRA, J. R. C.; SILVA, V. de P. da. Evapotranspiration and water-use efficiency of irrigated colored cotton cultivar in semiarid regions. **Agricultural Sciences**, v. 3, n. 5, p. 714 – 722, 2012.

AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da; SILVA, V. P. R. Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 58, p. 241-254, 2003.

AZEVEDO, P. V.; SOUSA, I. F. de; SILVA, B. B. da; SILVA, V. P. R. da. Water-use efficiency of dwarf-green coconut (*Cocos nucifera* L.) orchards in Northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, Armsterdam, v. 84, p. 259-264, 2006.

AZEVEDO, P. V. de; RAO, T. V. R.; AMORIM NETO, M. da S.; BEZERRA, J. R. C.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MACIEL, G. F. Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 7, p. 863-870, 1993.

BARRETO, A. N. Quantificação de água necessária para a mamoneira irrigada com base nas constantes hídricas do solo. In: CONGRESSO NACIONAL DA MAMONA, 1., 2004, Campina Grande-PB. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA, 2004. 1 CD-ROM

BARROS JÚNIOR, G.; GUERRA, H. O. C.; CAVALCANTI, M. L. F.; LACERDA, R. D. de. Consumo de água e eficiência de uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 350-355, 2008.

BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, L. C. Os múltiplos usos do óleo da mamona (*Ricinus communis* L.) e a importância do seu cultivo no Brasil. **Fibras e Óleos**, Campina Grande, n. 31, p. 1-7, 1999.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B. da; BEZERRA, J. R. C.; BRANDÃO, Z. N. Evapotranspiração real obtida através da relação entre o coeficiente dual de cultura da FAO-56 e o NDVI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 147-155, 2010a.

BEZERRA, J. R. C.; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da; DIAS, J. M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marrom irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 625-632, 2010b.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B. da; BEZERRA, J. R. C.; SOFIATTI, V.; SANTOS, C. A. C. dos. Evapotranspiration and crop coefficient for sprinkler-irrigated cotton crop in Apodi Plateau semiarid lands of Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 107, p. 86-93, 2012.

BLANC, E.; QUIRION, P.; STROBL, E. The climatic determinants of cotton yields: evidence from a plot in West Africa. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 148, p. 1093-1100, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas: 1961-1990**. Brasília- DF, 1992. 84 p.

CARDOSO, G. B.; VIANA, T. V. de A.; AZEVEDO, B. M. de; SOUSA, V. F. de; SOUZA, F. de. Determinação da ET de referência pela razão de Bowen com psicrômetros instalados a diferentes alturas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 1, p. 16-23, 2005.

FARAHANI, H. J.; OWEIS, T. Y.; IZZI, G. Crop coefficient for drip-irrigated cotton in a Mediterranean environment. **Irrigation Science**, New York, v. 26, p. 375-383, 2008.

FERREIRA, M. G. C.; MARUYANA, W. I.; SORATTO, R. P. Avaliação de cultivares de mamona em dois arranjos de plantas no outono-inverno em Cassilândia-MS. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 53-60, 2009.

KOUTROUBAS, S. D.; PAPAKOSTA, D. K.; DOITSINIS, A. Water requirements for castor oil crop (*Ricinus communis* L.) in a Mediterranean climate. **Journal of Agronomy & Crop Science**, n. 184, p. 33-41, 2000.

LIMA, R. de L. S. de; SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; SILVA, M. I. de L. e; ALBUQUERQUE, R. C.; BELTRÃO, N. E. de M. Crescimento da mamoneira em solo com

alto teor de alumínio na presença e ausência de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 15-21, 2007.

LOPES, P. M. O.; SILVA, B. B. da; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, V. P. R.; TEIXEIRA, A. H. C.; SOARES, J. M.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Balanço de energia num pomar de mangueira irrigada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2001.

LOPES, F. F. de M.; BELTRÃO, N. E. de M.; LOPES NETO, J. P.; PEDROZA, J. P. Crescimento inicial de genótipos de mamoneira com sementes submetidas ao envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 69-79, 2008.

PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; MARTINEZ-COB, A. A sample model for estimating the Bowen ratio from climatic factors for determining latent and sensible heat flux. **Agricultural Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 148, p. 25-37, 2008.

PRUEGER, J. H.; HATFIELD, J. L.; AASE, J. K.; PIKUL JR., J. L. Bowen-ratio comparisons with lysimeter evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 5, p. 730-736, 1997.

QUEIROGA, V. de P.; SANTOS, R. F. dos. Diagnóstico da produção da mamona (*Ricinus communis*, L) em uma amostra de produtores do Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 9-23, 2008.

SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; MORAES, C. R. A.; GONDIM, T. M. S.; FREIRE, W. S. A.; CASTRO, D. A.; CARDOSO, G. D.; BELTRÃO, N. E. M. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 4, p. 563-568, 2006.

SEVERINO L. S.; AULD, D. L.; BALDANZI, M.; CÂNDIDO, J. D.; GHEN, G.; CROSBY, W.; TAN, D.; XIAOHUA, H.; LAKSHMAMMA, P.; LAVANYA, C.; MACHADO, O. L. T.; MIELKE, T.; MILANI, M.; MILLER, T. D.; MORRIS, J. B.; MORSE, S. A.; NAVAS, A. A.; SOARES, D. J.; SOFIATTI, V.; WANG, M. L.; ZANOTTO, M. D.; ZIELER, H. A review on the challenges for increased production of castor. **Agronomy Journal**, Madison, v. 104, n. 4, p. 853-880, 2012.

SILVA, V. de P. R. da; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da Seasonal patterns of the energy balance components in a mango (*Mangifera indica* L.) orchard grown in Northeast Brazil. **Agricultural Journal**, v. 1, n. 1, p. 18-23, 2006.

SILVA, V. de P. R. da; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da Surface energy fluxes and evapotranspiration of a mango orchard grown in Semi-arid environment. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 6, p. 1391-1396, 2007.

SOUSA, C. M.; ROMÃO JÚNIOR, P. C.; XIMENES, P. A. Efeito da escarificação com ácido sulfúrico e da retirada da carúncula na qualidade fisiológica de sementes de mamona. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 37-43, 2009.

SOUZA, C. B. de; SILVA, B. B. da; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, V. P. R. da. Fluxos de energia e desenvolvimento da cultura do abacaxizeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, p. 400-407, 2008.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; MOURA, M. S. B.; SOARES, J. M.; AHMAD, M. D.; BOS, M. G. Energy and water balance measurements for water productivity analysis in irrigated mango trees, Northeast Brazil. **Agricultural Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 148, p. 1524-1537, 2008.

THORNTWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology – Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n. 1).

VERMA, S. B.; ROSEMBERG, N. J.; BLAD, B. L. Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advective conditions. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 17, p. 330-338, 1978.

WREGE, M. S.; LUNARDI, D. M. C. Evapotranspiração e coeficiente de cultura (Kc) do crisântemo (*Dendranthema grandiflora* var. Polaris Amarelo). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 14, n. 1, p. 43-52, 2006.

YAZAR, A.; SEZEN, S. M.; SESVEREN, S. LEPA and trickle irrigation of cotton in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 54, p. 189-203, 2002.