

## EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA DO GERGELIM IRRIGADA NA REGIÃO DA CHAPADA DO APODÍ-RN

**ALÉCIO RODRIGUES PEREIRA<sup>1</sup>; PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO<sup>2</sup>; ELLOISE RACKEL COSTA LOURENÇO<sup>3</sup>; LUCIANO MARCELO FALÉ SABOYA<sup>4</sup> E JOSÉ RENATO CORTEZ BEZERRA<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Mestre em Meteorologia; Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós Graduação em Meteorologia; Campina Grande –PB, Av. Aprígio Nepomuceno, 882, CEP: 58109-970, Brasil; Fone: (83) 2110 – 1000. E-mail: [aleciorp@hotmail.com](mailto:aleciorp@hotmail.com)

<sup>2</sup>Prof. Dr. da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologias e Recursos Naturais, Departamento de Ciências Atmosféricas, Campina Grande –PB, Av. Aprígio Nepomuceno, 882, CEP: 58109-970, Brasil; Fone: (83) 2110 – 1000. E-mail: [pydeazevedo@gmail.com](mailto:pydeazevedo@gmail.com)

<sup>3</sup>Doutoranda em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Geociências, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, João Pessoa, Cidade Universitária, s/n – Castelo Branco III, CEP: 58051-085, Brasil; Fone: (83) 3216 – 7750. E-mail: [elloisercl@gmail.com](mailto:elloisercl@gmail.com)

<sup>4</sup> Prof. Dr. da Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologias e Recursos Naturais, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Campina Grande, Av. Aprígio Nepomuceno, 882, CEP: 58109-970, Brasil; Fone: (83) 2110 – 1000. E-mail: [saboya@dcga.ufcg.edu.br](mailto:saboya@dcga.ufcg.edu.br)

<sup>5</sup>Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA Algodão, Campina Grande-PB, Rua Osvaldo Cruz, 1143; CEP: 58428 – 095, Brasil; Fone: (83) 3182 – 4300. E-mail: [bezerra@embrapa.br](mailto:bezerra@embrapa.br)

### 1 RESUMO

O experimento foi conduzido na Chapada do Apodi, na estação experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), localizada no município de Apodi-RN. O objetivo da pesquisa foi determinar as necessidades hídricas do gergelim (*Sesamum indicum* L.), cultivar BRS ANAHÍ, durante a estação seca de 2015, entre os meses de agosto, setembro e outubro. A evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) e o coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) foram obtidas pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen (BREB), enquanto que a evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) foi estimada pelo método de Penman-Monteith. Os resultados evidenciam que, em relação ao saldo de radiação (R<sub>n</sub>), os fluxos de calor latente (LE), calor sensível (H) e calor no solo (G) corresponderam a 81,3%, 17,7% e 0,4%, respectivamente. A ET<sub>c</sub> acumulada ao longo da estação de cultivo foi de 566,2 mm, correspondendo a uma média de 6,9 mm dia<sup>-1</sup>. A Fase III (desenvolvimento reprodutivo da cultura) apresentou maior demanda hídrica, com média de 8,0 mm dia<sup>-1</sup>. Os valores do K<sub>c</sub> foram: 0,6 no estágio inicial, 0,9 no estágio médio e 0,8 no estágio final. O valor do K<sub>c</sub> médio determinado experimentalmente foi inferior àquele recomendado pela FAO-56 nas Fases: I (emergência), II (desenvolvimento vegetativo) e III (desenvolvimento reprodutivo), enquanto que na Fase IV (frutificação e maturação) foi superior.

**Palavras Chave:** razão de bowen, evapotranspiração da cultura, coeficiente de cultivo.

**PEREIRA, A. R.; AZEVEDO, P. V.; LOURENÇO, E. R. C.; SABOYA, L. M. F.;  
BEZERRA, J. R. C.**

**IRRIGATED SESAME CROP EVAPOTRANSPIRATION IN THE APODÍ, RN  
TABLELAND**

## 2 ABSTRACT

The experiment was conducted on the Apodi Tableland at the experimental station of Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), located in the municipality of Apodi, RN. The objective of the research was to determine the water requirements of irrigated sesame (*Sesamum indicum* L.), BRS Anahi cultivar, during the dry season of 2015, over the months of August, September and October. The crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) and crop coefficient (K<sub>c</sub>) were obtained by the method of Bowen ratio energy balance (BREB), while the reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) was estimated by the Penman-Monteith method. The results show that, in comparison to net radiation (R<sub>n</sub>), the latent heat (LE), sensible heat (H) and heat to the ground (G) accounted for 81.3%, 17.7% and 0, 4%, respectively. The accumulated ET<sub>c</sub> over the growing season was 566.2 mm, corresponding to a 6.9 mm.day<sup>-1</sup>. Phase III (crop reproductive development) showed higher water demand, with 8.0 mm.day<sup>-1</sup>. The values of K<sub>c</sub> were 0.6 in the initial stage, 0.9 on the middle stage and 0.8 in the final stage. The average value of K<sub>c</sub> experimentally determined was lower than that recommended by the FAO-56 in Phase I (emergency), II (vegetative growth) and III (reproductive development) while Stage IV (fruit set and ripening) was higher.

**Keywords:** Crop evapotranspiration, crop coefficient, Bowen ratio

## 3 INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum* L.), também conhecido por sésamo, é uma planta herbácea que tem como centro de origem a África, onde se concentra a maioria das espécies silvestres do gênero *Sesamum* (LIMA et al., 2013). O gergelim requer precipitação pluvial entre 300 a 800 mm anual e altitude abaixo de 500 m (EMBRAPA, 2000). Silva et al. (2013) destacam que a espécie se desenvolve melhor em solos profundos com textura franca, bem drenados, de boa fertilidade natural e possui intolerância a salinidade. O pH do solo deve ser neutro, em torno de 7, tendo em vista que a cultura é extremamente sensível à acidez e à alcalinidade (GRILO JÚNIOR; AZEVEDO, 2013). Em condições ambientais a cultura do gergelim completa o seu ciclo entre 3 a 4 meses, por apresentar frutos deiscentes, isso é, que se abrem naturalmente na maturação e deixa cair às sementes, a colheita requer cuidados específicos para evitar as perdas no campo (EPSTEIN, 2000).

No Brasil, a planta foi introduzida por portugueses, via colônias indianas, no século XVI (BELTRÃO; SOUSA; PEREIRA, 2001). Ao longo dos anos foi muito cultivada pela agricultura familiar, onde segundo Queiroga et al. (2007) tem sido utilizado basicamente as sementes como fonte de matéria prima para produtos artesanais, exercendo, portanto, uma apreciável função econômica e social, uma vez que é cultivada basicamente para a produção de grãos (ARRIEL et al., 2007). O Brasil ainda é considerado como um pequeno produtor, entretanto após o incentivo dos últimos anos para que sejam encontradas fontes de energia renováveis, o gergelim tem sido visto como grande potencial para esse fim, sendo avaliado em diferentes pesquisas e sua produção e produtividade crescente ao longo dos anos. O rendimento médio do grão no país gira em torno de 650 kg ha<sup>-1</sup>, porém o seu potencial produtivo pode chegar a 1.500 kg ha<sup>-1</sup> (OLIVEIRA, 2005) e de acordo com Barros et al. (2001), a possibilidade de exportação de óleo para a comunidade Europeia, Japão, Israel e outros países possibilitará uma maior projeção do produto brasileiro no mercado internacional.

A região semiárida, devido à distribuição irregular de chuvas, apresenta longos períodos de seca em torno do ano, onde, muitas vezes, faz-se necessário o emprego da irrigação para suplementar a necessidade hídrica da cultura. Logo, a determinação precisa da evapotranspiração da cultura (ETc) é de grande importância para o uso eficiente da água, principalmente em regiões áridas e semiáridas (FIGUEIREDO et al., 2009).

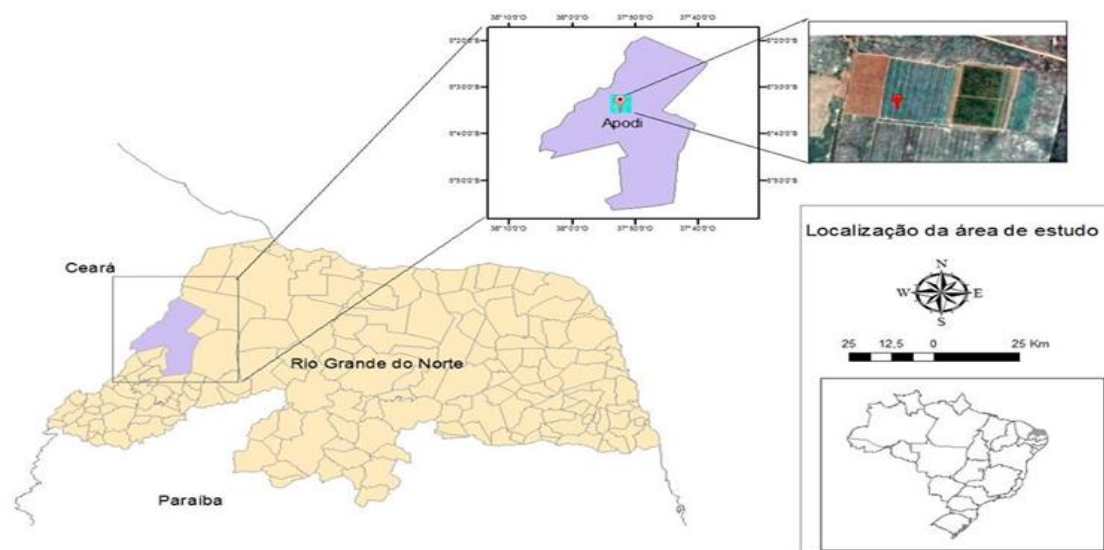
O balanço de energia com base na razão de Bowen ( $\beta$ ) é um método indireto que determina a evapotranspiração da cultura (ETc) por meio da quantificação do fluxo do calor latente durante o ciclo fenológico da cultura em escala horária ou diária, tornando-se ferramenta indispensável ao manejo racional da irrigação (MOURA et al., 2007). Além disso, o método da razão de Bowen é amplamente utilizado por possibilitar a estimativa dos fluxos de energia diretamente no campo, sem alteração do meio, a partir de medidas do saldo de radiação, fluxo de calor no solo e dos gradientes de temperatura e pressão de vapor de água do ar (LIU; FOKEN, 2001; AZEVEDO et al., 2003; AZEVEDO et al., 2006; AZEVEDO et al., 2007; BETTS et al., 2007; SOUZA et al., 2008). Além da razão de Bowen, que possibilita a determinação da evapotranspiração da cultura, é imprescindível a determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) e do coeficiente de cultivo (Kc) para diferentes localidades, culturas e cultivares, uma vez que a combinação desses fatores determinam a necessidade hídrica da cultura avaliada de acordo com as condições climáticas de onde está sendo cultivada.

Face ao exposto, a presente pesquisa objetivou a determinação do consumo hídrico da cultura do Gergelim na região da Chapada do Apodi-RN. Mais especificamente, objetivou a avaliação da evapotranspiração e o comportamento do coeficiente de cultivo ao longo do ciclo de cultivo do gergelim.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área Experimental

A campanha experimental foi realizada na Chapada do Apodi, na estação experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), localizada no município de Apodi-RN (5°37'37"S; 37°49'54"W; 138 m), Nordeste do Brasil (Figura 1). O experimento foi conduzido durante a estação seca, entre os meses de agosto a setembro, do ano de 2015. A região apresenta clima muito quente e semiárido, conforme a classificação climática de Köppen, com temperaturas média, máxima e mínima de 27,1; 34,1 e 22,8 °C, respectivamente. O experimento foi implantado numa parcela de 1ha.

**Figura 1.** Localização do município de Apodi-RN e área experimental

## 4.2 Cultura avaliada

O gergelim utilizado no experimento foi a cultivar BRS ANAHÍ, planta de hastes verde-escura, hábito de crescimento não ramificado, três frutos por axila foliar e sementes de coloração esbranquiçada. A cultura foi semeada num espaçamento de 0,8 m entre fileiras por 0,1 m entre plantas, perfazendo uma densidade populacional de 125.000 plantas/ha.

## 4.3 Sensores e variáveis meteorológicas mensuradas

Uma torre micrometeorológica foi montada na área de cultivo para instalação dos seguintes sensores: um saldo radiômetro (NR LITE/Kipp & Zonen), para medir o saldo de radiação; dois piranômetros (CM3/Kipp & Zonen), um com sensor voltado cima, com a finalidade de medir a radiação global (direta e difusa), e outro com sensor voltado para baixo, objetivando medir a radiação refletida, instalados a 50 cm acima do dossel da cultura; dois psicrômetros aspirados (Tipo T/Omega, Stamford, CT, USA) para determinação das temperaturas dos bulbos seco e úmido em dois níveis, um logo acima do dossel e outro 50 cm acima da vegetação, sendo alterada as posições de acordo com o crescimento da cobertura vegetal; dois anemômetros (Gill3 cup/modelo 12102, Young), para medir a velocidade do vento em dois níveis, mantidos nas mesmas alturas dos psicrômetros; e dois fluxímetros (Hukseflux/HFP01), para medir o fluxo de calor no solo, instalados um na fileira e outro entre fileiras de plantio a 2 cm de profundidade. Os sensores foram acoplados ao sistema de dados eletrônicos (Datalogger - CR1000/Campbell ScientificInc) para leitura dos sensores a cada 5 segundos e armazenamento dos valores médios a cada 20 minutos.

## 4.4 Evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>)

A evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) foi obtida pelo modelo de Penman-Monteith/FAO a partir da equação de Allen, Pereira e Raes (1998), dada por:

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

Onde:  $ET_0$  é a evapotranspiração de referência (mm);  $\Delta$  declinação da curva de saturação do vapor da água ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $R_n$  o saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ );  $G$  o fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ );  $\gamma$  o fator psicrométrico do vento a 2 m de altura ( $\text{m.s}^{-1}$ );  $e_s$  a pressão de saturação do vapor de água atmosférico (kPa);  $e_a$  a pressão atual do vapor de água atmosférico (kPa).

#### 4.5 Evapotranspiração da cultura pelo balanço de energia (ETc)

O balanço de energia foi obtido como:

$$R_n = LE + H + G + S + P \quad (2)$$

Sendo:  $R_n$  o saldo de radiação;  $LE$  o fluxo de calor latente;  $H$  o fluxo de calor sensível;  $G$  o fluxo de calor no solo;  $S$  a energia armazenada na copa das árvores; e  $P$  a energia utilizada no processo fotossintético, todos dados em  $\text{W.m}^{-2}$ . Segundo Allen, Pereira e Raes (1998), os termos  $S$  e  $P$  podem ser desprezados da equação, por representarem menos de 1% de  $R_n$ , além da dificuldade de serem calculados. Logo, a equação (2) fica:

$$R_n = LE + H + G \quad (3)$$

A resolução da equação (3) foi obtida a partir das medidas do  $R_n$  e  $G$ , utilizando-se da razão de Bowen ( $\beta$ ) expressa como:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{PC_p \left( \frac{K_h}{K_v} \right) \frac{\partial T / \partial Z}{\partial e / \partial Z}}{L \varepsilon} = \gamma \left( \frac{K_h}{K_v} \right) \frac{\Delta T}{\Delta e_a} \quad (4)$$

O termo  $K_h$  representa o coeficiente de difusão turbulenta de calor sensível ( $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ ); enquanto que  $K_v$  o coeficiente de vapor d'água ( $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ );  $L$  o calor latente de evaporação da água ( $\text{MJ.kg}^{-1}$ );  $C_p$  o calor específico do ar seco à pressão constante ( $\text{MJ.Kg}^{-1}.\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ );  $P$  a pressão atmosférica média local (kPa);  $\varepsilon$  a razão entre as massas moleculares da água e do ar seco (equivalente a 0,622);  $\Delta T$  a variação de temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ );  $\Delta e$  a variação da pressão parcial do vapor d'água na atmosfera medidas em dois níveis acima da superfície vegetada ( $\Delta e = e_2 - e_1$ );  $\Delta z$  a diferença de altura entre os dois níveis que foram observados a pressão parcial do vapor d'água ( $\Delta z = z_2 - z_1$ ) e  $\gamma$  o fator psicrométrico ( $\text{kPa.C}^{-1}$ ).

De acordo com Verma, Rosemberg e Blad (1978), na ausência de advecção de calor sensível e em condições de neutralidade atmosférica ( $K_h \cong K_v$ ). Considerando que  $(\partial T / \partial Z) / (\partial e / \partial z) \cong \Delta T / \Delta e$ , a razão de Bowen foi expressa como:

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (5)$$

O fluxo de calor latente ( $LE$ ) foi obtido pela expressão:

$$LE = \frac{Rn + G}{1 + \beta} \quad (6)$$

O fluxo de calor sensível (H) foi obtido como resíduo da equação do balanço de energia, como:

$$H = Rn - LE - G \quad (7)$$

Objetivando eliminar alguns erros associados ao BERB aplicado às estimativas dos valores de  $\beta$  e, conseqüentemente, ao cálculo dos fluxos LE e H, foram consideradas as situações que satisfazem a aplicação do método, de acordo com Perez et al. (1999) (Tabela 1), em conjunto com a classificação dos tipos de erros ocorridos levando o dado a ser considerado inconsistente (Tabela 2).

**Tabela 1.** Condições para satisfazer o método da razão de Bowen, sob condições não advectivas, para que o dado possa ser considerado consistente

Energia disponível	Gradiente de pressão de vapor	Razão de Bowen	Fluxo de calor
$Rn - G > 0$	$\Delta e > 0$	$\beta > -1$	$LE > 0$ e $H \leq 0$ para $-1 < \beta \leq 0$ ou $H > 0$ para $\beta > 0$
	$\Delta e < 0$	$\beta < -1$	$LE < 0$ e $H > 0$
$Rn - G < 0$	$\Delta e > 0$	$\beta < -1$	$LE > 0$ e $H < 0$
	$\Delta e < 0$	$\beta > -1$	$LE < 0$ e $H \leq 0$ para $-1 < \beta \leq 0$ ou $H < 0$ para $\beta > 0$

Fonte: Perez et al., (1999)

**Tabela 2.** Tipos de erros em que o método da razão de Bowen é considerado inconsistente

Tipo de erro	Condição
A	$Rn - G > 0, \Delta e > 0$ e $\beta < -1 +  \varepsilon $
B	$Rn - G > 0, \Delta e < 0$ e $\beta > -1 -  \varepsilon $
C	$Rn - G < 0, \Delta e > 0$ e $\beta > -1 -  \varepsilon $
D	$Rn - G < 0, \Delta e < 0$ e $\beta < -1 -  \varepsilon $
E	Mudança rápida de temperatura e pressão de vapor

Fonte: Perez et al. (1999)

Para a estimativa do erro (E), para leitura integralizada de 20 minutos, utilizou-se a equação proposta por Perez et al. (1999):

$$E = \frac{\delta \Delta e - \gamma \delta \Delta T}{\Delta e} \quad (8)$$

Assumindo  $\delta \Delta e = 0,02$  kPa e  $\delta \Delta T = 0,05$  °C.

Adicionalmente, considerou-se que valores de  $\beta < -0,75$  resultariam em valores de LE e H fisicamente inconsistentes (ORTEGA et al., 1996).

A evapotranspiração da cultura pelo método do balanço de energia ( $ET_{C_{BERB}}$ ),  $\text{mm d}^{-1}$ , foi obtida dividindo-se a equação (8) pelo calor latente de vaporização ( $\lambda$ ), integrando os resultados para o período do dia em que houver energia disponível, ou seja, quando o saldo de radiação for positivo ( $R_n - G > 0$ ) (BEZERRA, 2007; BEZERRA et al., 2010):

$$ET_{C_{BERB}} = \frac{\lambda E}{\lambda} P_p \quad (9)$$

Onde:  $P_p$  é o período do dia em que  $R_n - G > 0$ .

#### 4.6 Coeficiente de cultivo (Kc)

A partir de valores diários da evapotranspiração da cultura ( $ET_{C_{BERB}}$ ) e da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), obteve-se o coeficiente da cultura (Kc) como:

$$Kc = \frac{ET_{C_{BERB}}}{ET_0} \quad (10)$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Fenologia do gergelim

O ciclo fenológico do gergelim, cultivar BRS ANAHÍ, foi dividido em quatro fases (Tabela 3) em função dos seus processos fisiológicos (ALLEN; PEREIRA; RAES, 1998).

**Tabela 3.** Ciclo fenológico do gergelim (BRS ANAHÍ) no período de 11/08 a 31/10/2015 em Apodi-RN

Fase fenológica	Período (DAE*)	Número de dias
I - Emergência a 10% da cobertura de solo.	1 – 13	13
II - 10% da cobertura de solo ao início da floração.	14 – 35	22
III - Início da floração ao início da maturação.	36 – 68	33
IV - Início da maturação ao final do ciclo da cultura	69 – 82	14
	TOTAL	82

\* DAE: Dias Após a Emergência

Conforme observações diárias no campo verificou-se que a Fase I (emergência das plantas até 10% de cobertura de solo), teve duração de 13 dias; a Fase II (desenvolvimento vegetativo – 10% de cobertura solo pela cultura até o início da floração), teve a duração de 22 dias; a Fase III (desenvolvimento reprodutivo - início da floração ao início da maturação dos frutos), com duração de 33 dias e a Fase IV (início da maturação dos frutos ao final do ciclo da cultura), teve duração de 14 dias. Dessa forma, o gergelim, cultivar BRS ANAHÍ, teve seu ciclo

completado em 82 dias após a emergência das plantas, sendo classificada como uma cultura de ciclo precoce.

## 5.2 Comportamento das variáveis climatológicas na área experimental

Não houve eventos de precipitação no período em que o experimento foi conduzido, logo a demanda hídrica da cultura foi totalmente fornecida pela prática de irrigação. Como consequência, a umidade relativa do ar (UR) manteve-se baixa e pouco variável durante todo o período do experimento. A UR diária variou de 44,5 a 66,5%, sendo obtido valor mensal médio máximo no mês de setembro e mínimo no mês de agosto, sendo elas 57,1 e 54,7% respectivamente, apresentando uma diferença máxima de apenas 2,4% entre os meses observados. Valores um pouco inferiores ao encontrado por Ramos, Santos e Fortes (2009) onde a média para a época do ano na região foi de 59,7%.

A temperatura máxima diária variou de 31,7 a 38 °C, sendo observado um valor médio mensal máximo no mês de outubro, onde foi registrada a temperatura de 36,2°C, e a menor foi obtida no mês de agosto, registrando-se uma temperatura de 34,7°C, sendo a diferença entre esses dois extremos de 1,5°C. A temperatura mínima diária variou de 21 a 25,6 °C, com médias 22,8°C em agosto e 23,5°C em outubro. As temperaturas ideais para o crescimento e desenvolvimento do gergelim situam-se entre 25 a 30°C, inclusive para a germinação das sementes. Apesar da temperatura situar-se acima da faixa ideal ao desenvolvimento do gergelim em algumas horas do dia não resultou em danos perceptíveis ao desenvolvimento vegetativo ou produtivo da cultura.

O vento, considerado o segundo fator mais importante depois da temperatura no processo de evapotranspiração, variou em termo diário de 1 a 4,7 ms<sup>-1</sup>, com média mensal máxima de 2,8 m s<sup>-1</sup> em agosto e mínima de 2,5 m s<sup>-1</sup> em outubro. As condições climáticas da região, sobretudo altas temperaturas e baixas umidades relativas do ar, no período do experimento, contribuem para ocorrência de uma alta evapotranspiração. A ausência de precipitação pluvial ocasionou sucessivas irrigações, tendo em vista que a demanda hídrica da cultura foi unicamente suprida pela prática da irrigação.

## 5.3 Comportamento dos componentes do balanço de energia

A análise de consistência dos dados, segundo os critérios elencados por Perez et al. (1999), é apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4.** Análise de consistência física dos dados coletados para realização do cálculo do balanço de radiação pelo método da razão de Bowen

Fase Fenológica	PDC	Tipos de Erro (%)					
		A	B	C	D	$(-1- \varepsilon )<\beta<(-1+ \varepsilon )$	$\beta<-0,75$
Fase I	73,8	2,7	14	-	-	-	-
Fase II	65,6	2,7	26,7	-	-	-	-
Fase III	66,8	4,0	23,2	-	-	-	-
Fase IV	34,2		52,4	-	-	-	-
Todo ciclo	62,3	3,7	29,5	-	-	-	-

\*PDC – Percentual Médio de Dados Consistentes.

Observou-se que, para todo o ciclo de cultivo, 62,3% dos dados coletados permitiram a realização do balanço de energia. Resultado similar ao obtido por Silva et al. (2011) para a



cultura da cana-de-açúcar em Juazeiro-BA, com percentual de 65% nas três primeiras fases fenológicas e 34,2% na quarta fase.

Os erros que ocorreram foram dos tipos A e os do tipo B, contribuindo com 3,7 e 29,5% respectivamente. Os erros do tipo A ocorreram quando valores do fluxo de calor sensível foram menores que zero ( $H < 0$ ), podendo ser ocasionado pela irrigação. Erros do tipo B ocorreram quando o gradiente da pressão de vapor foi inferior a zero ( $\Delta e < 0$ ), comportamento que deve ter ocorrido mediante a irrigação em combinação com a estrutura foliar do gergelim, por propiciar concentração de vapor de água maior entre as folhas do que na atmosfera, mesmo quando a diferença entre o saldo de radiação e o fluxo de calor no solo é superior a zero ( $R_n - G > 0$ ). Não foram constatados valores da razão de bowen ( $\beta$ ) dentro da faixa de rejeição e nem valores inferiores a - 0,75. Para a cultura da cana de açúcar no município de Capim na Paraíba, Silva et al. (2011) observaram erros do tipo: A, B, C e D, contribuindo com 0,2%, 4,9%, 32,2% e 0,1%, respectivamente.

O comportamento médio diário de  $R_n$ , LE, H e do G e das relações LE/ $R_n$ , H/ $R_n$  e G/ $R_n$  é apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5.** Valores médios dos componentes do balanço de energia e da partição do saldo de radiação ( $R_n$ ) em fluxo de calor latente (LE/ $R_n$ ), calor sensível do ar (H/ $R_n$ ) e fluxo de calor no solo (G/ $R_n$ ) para as diferentes fases fenológicas da cultura do gergelim (BRS ANAHÍ) no período de 11/08 a 31/10/2015 em Apodi-RN.

Fase Fenológica	$R_n$	LE	H	G	LE/ $R_n$	H/ $R_n$	G/ $R_n$
	-----Wm <sup>-2</sup> -----				-----%-----		
I	305,6	250,1	53,9	1,8	81,8	17,6	0,6
II	326,4	242,3	83,1	1,7	74,2	25,5	0,5
III	364,5	287,6	68,8	1,0	78,9	18,8	0,3
IV	405,2	366,2	37,4	1,7	90,4	9,2	0,4
Média	350,4	286,5	60,8	1,5	81,3	17,7	0,4

As oscilações de valores de  $R_n$  foram acompanhadas pelos demais componentes do balanço de energia. Observa-se que o  $R_n$  apresentou comportamento crescente ao longo dos estágios fenológicos da cultura. Em termos médios percentuais em relação ao  $R_n$ , o LE correspondeu a 81,3%, H com 17,7% e o G correspondeu apenas a 0,4%.

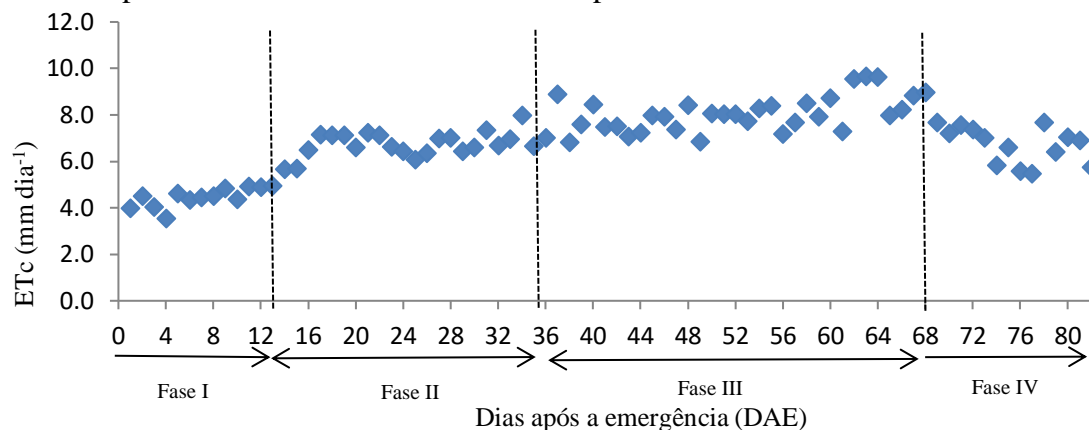
#### 5.4 Evapotranspiração da cultura (ETc)

Os valores diários da ETc obtidos pela razão de Bowen ( $ET_{CBERB}$ ) são apresentados na Figura 2 e Tabela 6. Os valores diários de  $ET_{CBERB}$  variaram de 3,5 a 9,7 mm d<sup>-1</sup>, com mínimos no início do desenvolvimento (Fase I) e máximos durante o desenvolvimento reprodutivo da cultura (Fase III). A ETc acumulada para todo o ciclo da cultura foi de 566,2 mm. Na II fase fenológica da cultura a ETc apresenta comportamento crescente, entretanto entre os dias 20 e 28 apresentou um comportamento decrescente quando comparados com os valores obtido nos demais dias pertencentes a essa fase, isso pode ser explicado pelo fato de nesses dias o céu apresentou-se com uma maior quantidade de nuvens o que contribuiu para uma menor radiação incidente sobre a superfície e conseqüentemente uma menor temperatura, resultando em menor ETc.

Estimando a evapotranspiração da cultura do gergelim pelo método do balanço hídrico do solo em Barbalha – CE, Amaral e Silva (2008) obtiveram um valor mínimo de 2,5 mm d<sup>-1</sup> e

um valor máximo de 11,6 mm d<sup>-1</sup>. Os mesmos autores ainda observaram que, à semelhança do observado na presente pesquisa, a ETc apresentou valor mínimo na fase fenológica I e comportamento crescente a medida que a cultura se desenvolveu.

**Figura 2.** Evapotranspiração da cultura (ETc, mmd<sup>-1</sup>) do gergelim (BRS ANAHÍ) irrigado no período de 11/08 a 31/10/2015 em Apodi-RN



**Tabela 6.** Evapotranspiração da cultura (ETc) médios e totais para cada fase fenológica do gergelim (BRS ANAHÍ) em Apodi -RN

Fase Fenológica	ETc Médio (mmd <sup>-1</sup> )	ETc Total (mm)
I	4,5	58
II	6,7	148,5
III	8,0	265,5
IV	6,7	94,2
<b>Total</b>		<b>566,2</b>

Em termos médios obteve-se um menor valor de ETc na I fase fenológica da cultura, com 4,5 mmd<sup>-1</sup>, e maior na III fase, com 8,0 mmd<sup>-1</sup>. Os valores médios da ETc apresentaram comportamento crescente da Fase I a III e decrescente na fase IV, com média de 6,7 mmd<sup>-1</sup>. A ETc total foi menor na fase fenológica I, com 58 mm, e maior na fase fenológica III, com 265,5 mm. Para todo o ciclo a ETc foi de 566,2 mm. O decréscimo da ETc no fim do ciclo ocorreu, provavelmente, devido à senescência natural da cultura, tendo em vista que a redução da área foliar deve implicar em menor transpiração da planta, corroborando com o que foi observado por Lima et al. (2006) e Taiz e Zeiger (2009). Pereira (2014) avaliando a evapotranspiração do gergelim pelo método do balanço hídrico do solo, em Barbalha-CE, também verificou que a ETc apresentou, em termos médios diários, um comportamento crescente entre as fases fenológicas I e III, aumentando de 3,5 para 7,7 mmd<sup>-1</sup>, respectivamente. Já na IV fase a ETc decresceu para 4,6 mmd<sup>-1</sup>. A ETc total para todo o ciclo da cultura foi de 515,9 mm.

Os valores da ETc superiores encontrados nessa pesquisa, em comparação com aqueles obtidos por Pereira (2014) pode ser explicado pela alta demanda hídrica da atmosfera, com temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar, potencializando a capacidade do ar de absorver umidade. Além disso, a ausência de dias de céu nublado durante o experimento foi outro fator que também pode ter influenciado, uma vez que quanto menor for a presença de nuvens na atmosfera uma maior quantidade de radiação incidente chegará à superfície, tendo em vista a capacidade das nuvens de absorver e refletir energia.

### 5.5 Coeficiente de cultivo (Kc)

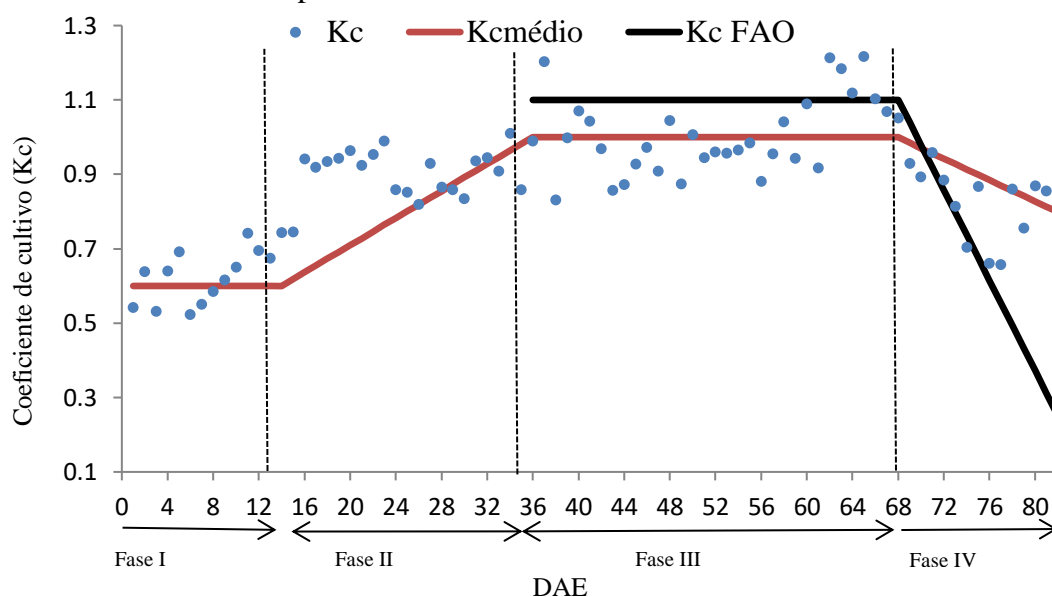
Os valores diários, a média para cada fase fenológica e os valores recomendados pela FAO 56 para o coeficiente do cultivo (Kc) são apresentados na Figura 3. Os valores mínimos diários foram obtidos na I e máximos na III fase fenológica da cultura, variando de 0,52 a 1,22, respectivamente. Os valores do Kc médio na I, II, III e IV fase fenológica da cultura foram 0,62; 0,90; 1,01 e 0,82, respectivamente, e a média para todo o ciclo foi de 0,88. O maior valor do Kc na III fase ocorreu devido ao fato do consumo hídrico das plantas (ETc) ter sido máximo nesta fase, resultado similar ao encontrado por Pereira et al. (2014) trabalhando com gergelim em Barbalha-CE, onde obteve um Kc médio de 0,63 no estágio I; 0,83 no estágio II e 0,97 no estágio III, divergindo acentuadamente apenas na fase IV onde obteve um Kc de 0,56. Um maior valor do Kc obtido no experimento durante a IV fase fenológica pode ser explicado pelo fato das irrigações terem sido mantidas até a fase de senescência com a finalidade de evitar a liberação dos frutos pela cultura, tendo em vista que López-Urrea et al. (2009) apontam o uso frequente do sistema de irrigação por aspersão como fator que contribui para obtenção de elevados valores da ETc nos estágios de menor cobertura do solo pela cultura, pois provoca intenso molhamento da superfície, o que eleva a evaporação do solo devido a sua maior exposição e, conseqüentemente, mantém o valor Kc elevado.

A FAO 56 não estabelece valor de Kc para a fase inicial da cultura, o Kc médio obtido foi relativamente próximo ao recomendado pela FAO 56, que sugere Kc médio de 1,10 para a cultura, entretanto diferiu muito do recomendado pela FAO 56 para o final do ciclo da cultura, que estabelece Kc final de 0,25. Obtendo o Kc diário para diversas culturas em um balanço hídrico agrícola, Gurski, Sousa e Armindo (2013) identificaram que o Kc apresentou valores diferentes daqueles sugeridos pelas metodologias proposta pela FAO (Figura 3). Essa divergência pode ter ocorrido devido o Kc determinado localmente não ser constante para cada estágio da cultura e o agrupamento dos estágios de desenvolvimento da cultura proporcionarem erros, uma vez que a cultura se modifica diariamente durante todo o ciclo e sugerem o ajuste local como alternativa na determinação do referido parâmetro.

Resultados semelhantes foram obtidos por Amaral e Silva (2008) estimando o coeficiente de cultivo do gergelim BRS 196 CNPA G4 a partir do balanço hídrico do solo em Barbalha-CE, onde verificaram que o Kc variou de 0,6 até 0,8 durante a fase intermediária (florescimento e desenvolvimento dos frutos), estabilizando-se e apresentando um valor médio de 0,8.

É reportado um considerável nível de sensibilidade da metodologia do Kc para as variações normais de ano para ano e do manejo da irrigação durante todos os estágios de crescimento e desenvolvimento da cultura, onde valores do Kc médio desenvolvidos localmente sob condições de cultivo adequadas no sul da Califórnia, apresentaram uma redução de 6% (ALLEN et al., 2005) e de 15% no oeste da Turquia (ALLEN, 2000), devido as condições ideais assumidas não prevaleceram. Jensen, Burman e Allen (1990) e Allen, Pereira e Raes (1998), sugerem a utilização de vários anos para construir uma curva mais representativa do Kc. Allen, Pereira e Raes (1998) afirmam que o valor do Kc pode variar de 0,10 a 1,15, influenciado principalmente pela frequência e intensidade de molhamento da superfície (precipitação ou irrigação), como durante todo o experimento as irrigações foram mantidas pode ter influenciado na obtenção de valores de Kc relativamente mais elevados.

**Figura 3.** Coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), coeficiente de cultivo médio ( $K_{c\text{médio}}$ ) e coeficiente de cultivo recomendado pela FAO56 para a cultura do gergelim no período de 11/08 a 31/10/2015 em Apodi-RN



## 6 CONCLUSÕES

A análise dos dados obtidos em experimento de campo ao longo do ciclo de produção do gergelim (BRS ANAHÍ) no município de Apodi-RN, para o período de 11/08 a 31/10/2015 permite concluir que:

- O consumo hídrico da cultura ( $ET_{CBERB}$ ) foi de 566,2 mm, com comportamento crescente de 58 mm na fase fenológica I (Emergência a 10% da cobertura de solo), para 265,5 mm na fase III (Início da floração ao início da maturação), decrescendo em seguida para 94,2 mm na fase IV (Início da maturação ao final do ciclo da cultura);
- Em termos médios percentuais, 81,3% do saldo de radiação foi consumido como calor latente, 17,7% como calor sensível e 0,4% como fluxo de calor para o solo;
- O valor médio do coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) para todo o ciclo da cultura foi de 0,9, com valores crescentes na I a III fase fenológica, onde foi obtido o  $k_c$  de 0,6 na fase I, 0,9 na fase II e 1,0 na fase III. Na fase IV decresceu para 0,9.

## 7 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. **Journal Hydrology**, Amsterdam, v. 229, p. 27-41, Mar. 2000.

ALLEN, R. G.; CLEMMENS, A. J.; BURT, C. M.; SOLOMON, K.; O'HALLORAN, T. Prediction accuracy for project wide evapotranspiration using crop coefficients and reference evapotranspiration. **Journal Irrigation Drainage Engineering**, Reston, v. 131, n. 1, p. 24-36, Feb. 2005.

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AMARAL, J. A. B.; SILVA, M. T. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do gergelim por manejo de irrigação. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 25-33, abr. 2008.
- ARRIEL, N. H. C.; FIRMINO, P. T.; BELTRÃO, N. E. M.; SOARES, J. J. ; ARAÚJO, A. E.; SILVA, A. C.; FERREIRA, G. B. **A cultura do gergelim**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 72 p. (Cartilha Plantar, 50).
- AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R. Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 58, p. 241-254, Mar. 2003.
- AZEVEDO, P. V.; SOUSA, I. F.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R. Water use efficiency of dwarf-green coconut (*cocosnucifera L.*) orchards in Northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 1, n. 84, p. 259-264, Apr. 2006.
- AZEVEDO, P. V.; SOUZA, C. B.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R. Water requirements of pineapple crop grown in a tropical environment, Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 88, n. 1/3, p. 201-208, Mar. 2007.
- BARROS, M. A. L.; SANTOS, R. F.; BENATI, T.; FIRMINO, P. T. Importância econômica e social. In: BELTRÃO, N. E. M. **O agronegócio do gergelim no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa- CTT; Campina Grande: Embrapa-CNPq, 2001. cap. 2, p. 01-348.
- BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA, J. G.; PEREIRA, J. R. Fitologia. In: BELTRÃO, N. E. M.; VIEIRA, D. J. **O agronegócio do Gergelim no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Comunicações para transferência de Tecnologia, 2001. cap. 3, p. 37-35.
- BETTS, A. K.; DESJARDINS, R. L.; WORTH, D. Impact of agriculture, forest and cloud feedback on the surface energy budget in BOREAS. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 142, n. 2/4, p. 156-169, Feb. 2007.
- BEZERRA, J. R. C. **Crescimento, desenvolvimento e rentabilidade do algodoeiro BRS 200 – marrom, irrigado**. 2007. 88 f. Tese (Doutor em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.
- BEZERRA, J. R. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; DIAS, J. M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BR-200 marrom, irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 625-632, jun. 2010.
- EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Cultivares do gergelim. Campina Grande, 2012. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/gergelim/Abertura.html>>. Acesso em: 20 maio 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Algodão. **II Plano Diretor da Embrapa Algodão**. Campina Grande: Embrapa-CNPA, 2000. 30 p.

EPSTEIN, L. **Cultura – Gergelim SDA DDA – SEAGRI**. Salvador: Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária, 2000.

FIGUEIREDO, V. B.; MEDEIROS, J. F.; ZOCOLER, J. L.; ESPINOLA SOBRINHO, J. Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, p. 231-240, jun. 2009.

GRILO JÚNIOR, J. A. S.; AZEVEDO, P. V. de. Crescimento, desenvolvimento e produtividade do gergelim ‘BRS Seda’ na agrovila de Canudos, em Ceará Mirim (RN). **Revista Holos**, Santa Cruz, v. 2, p. 19-33, abr. 2013.

GURSKI, B. C.; SOUZA, J. L. M.; ARMINDO, R. A. Estimativa do coeficiente de cultivo diário de diversas culturas em um balanço hídrico agrícola. In **XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Florianópolis: 2013. Disponível em: <[http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/re\\_2013\\_cbcs\\_2.pdf](http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/re_2013_cbcs_2.pdf)> Acesso em: 02/02/2016.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332 p.

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**, Recife-PE, v. 1, p. 89-95, dez. 2006.

LIMA, F. A.; SOUSA, G. G. DE; VIANA, T. V. DE A.; PINHEIRO NETO, L. G.; AZEVEDO, B. M.; CARVALHO, C. M. Irrigação da cultura do gergelim em solo com biofertilizante bovino. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 7, p. 102-111, abr. 2013.

LIU, H.; FOKEN, T. A modified Bowen ratio method to determine sensible and latent heat fluxes. **Meteorologische Zeitschrift**, Estugarda, v. 10, n. 1, p. 71-80, Jan. 2001.

LÓPEZ-URREA, R.; MONTORO, A.; GONZÁLEZ-PIQUERAS, J.; LÓPEZ FUSTER, P.; FERERES, E. Water use of spring wheat to raise water productivity. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, p. 1305-1310, Sept. 2009.

MOURA, M. S. B.; SOARES, J. M.; GURGEL, M. T.; SILVA, T. G. F. Balanço de energia na cana-de-açúcar irrigada no Submédio São Francisco. In: **Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem**. Petrolina: 2007. Disponível em: <[http://www.cpatsa.embrapa.br/public\\_eletronica/downloads/OPB1481.pdf](http://www.cpatsa.embrapa.br/public_eletronica/downloads/OPB1481.pdf)>. Acesso em: 24/07/2015.

OLIVEIRA, E. **Características da cultura do gergelim**. Campo Florido: Emater, 2005.

- ORTEGA-FARIAS, S. O.; CUENCA, R. H.; EK, M. Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 81, p. 131-143, Sept. 1996.
- PEREIRA, J. R.; ARAUJO, W. P.; ALMEIDA, E. S. A. B.; BEZERRA, J. R. C.; GUERRA, H.O.C.; ZONTA, J.H. Sesame crop coefficients using crop evapotranspiration by water balance and, reference evapotranspiration by Penman-Monteith. **Irriga**, Botucatu, n. 1, p. 72-84, Mar. 2014. Edição especial.
- PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; IBÁÑEZ, M.; ROSELL, J. I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 97, n. 3, p. 141-50, Nov. 1999.
- PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; MARTINEZ-COB, A. A simple 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, Jan. 2008.
- QUEIROGA, V. P.; ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. M.; SILVA, O. R. R.; GONDIM, T. M. S.; FIRMINO, P. T.; CARTAXO, W. V.; SILVA, A. C.; VALE, D. G.; NÓBREGA, D. A. **Cultivo ecológico do gergelim**: alternativa de produção para comunidades de produtores familiares da região semi-árida do Nordeste. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. 53 p. (Documentos, 171).
- RAMOS, A. M.; SANTOS, L. A. R.; FORTES, L. T. G. **Normas climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília, DF: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. 465 p.
- SILVA, B. K. N.; SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P.V.; FARIAS, C. H. A. Análise de sensibilidade dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência e razão de Bowen em cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p. 1046–1053, Oct. 2011.
- SILVA, J. C. A. S.; FERNANDES, P. D.; BEZERRA, J. R. C.; ARRIEL, N. H. C.; CARDOSO, G. D. Crescimento e produção de genótipos de gergelim em função de lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 4, p. 408-416, Nov. 2013.
- SOUZA, C. B.; SILVA, B. B.; AZEVEDO, P. V.; SOLVA, V. P. R. Fluxo de energia e desenvolvimento da cultura do abacaxizeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 400-407, jan. 2008.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.
- 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, Mar. 1978.