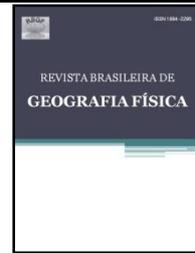




ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Necessidades Hídricas da Cultura do Gergelim na Região da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte

Elloise Rackel Costa Lourenço. Universidade Federal da Paraíba. E-mail: [elloisercl@gmail.com](mailto:elloisercl@gmail.com), Pedro Vieira de Azevedo. Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: [pvdeazevedo@gmail.com](mailto:pvdeazevedo@gmail.com) Alecio Rodrigues Pereira. FUNCEME, e-mail: [aleciorp@hotmail.com](mailto:aleciorp@hotmail.com) José Renato Cortez Bezerra. EMBRAPA. E-mail: [jose.cortez-bezerra@embrapa.br](mailto:jose.cortez-bezerra@embrapa.br) Luciano Marcelo Falle Saboya. Universidade Federal de Campina Grande, E-mail: [lsaboya@hotmail.com](mailto:lsaboya@hotmail.com), João Henrique Zonta. EMBRAPA. E-mail: [joaozonta@hotmail.com](mailto:joaozonta@hotmail.com)

Artigo recebido em 11/01/2018 e aceito em 13/06/2018

### RESUMO

O experimento de campo foi conduzido na Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), no município de Apodi, localizado no estado do Rio Grande do Norte. O período de estudo foi de 11 de agosto a 31 de outubro de 2015, objetivando a determinação do consumo hídrico da cultura do gergelim (*Sesamum indicum L*) para as condições edafoclimáticas da chapada do Apodi-RN. Os métodos do balanço hídrico no solo e Penman-Montheith e a relação  $ET_o/ET_c$  foram utilizados para estimar a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e o coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), respectivamente. A cultura do gergelim - BRS Anahi foi irrigada por aspersores com a aplicação de 534,9 mm de água ao longo do ciclo total de cultivo. O ciclo do gergelim foi de 82 dias, distribuídos na Fase I (germinação das plantas até 10% de cobertura do solo), com duração de 13 dias; Fase II (10% da cobertura do solo ao início da floração), com duração de 22 dias; Fase III (início da floração ao início da maturação dos frutos), com duração de 33 dias; e Fase IV – fase final (maturação dos frutos até a colheita), com duração de 14 dias. O consumo hídrico total do ciclo da cultura foi de 502,2 mm. O coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) apresentou valores médios de 0,51; 0,73; 1,03 e 0,59 para as fases I, II, III e IV, respectivamente.

Palavras-chave: balanço hídrico no solo, *Sesamum indicum*, coeficiente de cultivo

## Water Consumption of Sesame Crop in the Region of the Plateau of Apodi-RN, Brazil

### ABSTRACT

The field experiment was conducted at the Experimental Farm of the Company of Agricultural Research of Rio Grande do Norte (EMPARN) in the municipality of Apodi, located in the state of Rio Grande do Norte. The study period was from August 11 to October 31, 2015. Aimed to determine the water consumption of sesame crop (*Sesamum indicum L*) for soil and climatic conditions of the semiarid region of the Plateau of Apodi-RN. The soil water balance and Penman-Montheith methods and the  $ET_o/ET_c$  ratio were used to estimate crop evapotranspiration ( $ET_c$ ), reference evapotranspiration ( $ET_o$ ) and crop coefficient ( $K_c$ ), respectively. The crop sesame BRS - Anahi was irrigated with sprinklers application of 534.9 mm of water over the entire growing cycle. Sesame cycle was 82 days, distributed in Phase I (germination of plants up to 10% soil coverage), lasting 13 days; Phase II (10% soil coverage up to beginning of flowering), with duration of 22 days; Phase III (beginning of flowering to early fruit maturation), lasting 33 days; and Phase IV - final stage (ripening of the fruit to harvest), lasting 14 days. The crop cycle water consumption was 502.2 mm. The crop coefficient ( $K_c$ ) had mean values 0.51; 0.73; 1.03 and 0.59 for the phases I, II, III and IV, respectively.

Keywords: soil water balance, *Sesamum indicum*, crop coefficient

## Introdução

O gergelim (*Sesamum indicum* L) é uma cultura que apresenta características ideais para a região semiárida do Nordeste brasileiro, de fácil cultivo e muito resistente a regiões com o clima seco. No Brasil, o cultivo do gergelim é restrito a algumas áreas da maioria dos estados nordestinos e dos estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso.

Dentre as culturas oleaginosas, o gergelim apresenta uma produção do óleo de excelente qualidade e possui ampla adaptabilidade às condições edafoclimáticas das regiões de clima seco, bom nível de resistência à seca e exige práticas agrícolas simples e de fácil assimilação (Ariel et al., 2009). A cultivar BRS Anahi, segundo a EMBRAPA (2015), apresenta porte médio, ciclo médio de 90 dias, haste de coloração verde escura, hábito de crescimento não ramificado e com três frutos por axila foliar e floração aos 39 dias.

O Brasil se caracteriza como pequeno produtor de gergelim com rendimento médio de 600 kg há<sup>-1</sup> e produz 15 mil toneladas em uma área de 25 mil hectares (FAO, 2015). A região Nordeste do Brasil se caracteriza pela baixa precipitação pluviométrica associada a má distribuição espacial e temporal das chuvas o que compromete o suprimento adequado de água à maioria das culturas. Assim, a irrigação é a forma mais utilizada para se obter o desenvolvimento e produção potencial das culturas.

Devido a água ser um recurso natural escasso na região semiárida do Brasil, faz-se necessário conhecer as necessidades hídricas das culturas de forma a possibilitar um manejo eficiente da água e aumentar o potencial produtivo das mesmas. Estudos para se determinar ou estimar as necessidades hídricas das culturas podem ser feitos através do balanço hídrico do solo, do balanço de energia baseado na razão de Bowen ou através do método das correlações turbulentas.

O balanço hídrico no solo é uma ótima alternativa para se estimar o consumo hídrico pois ele contabiliza os dados dos processos e fluxos no solo como a entrada de água seja ela vinda por

precipitação ou por irrigação, variação do armazenamento da água, drenagem profunda/ascensão capilar, o escoamento superficial e a evapotranspiração de uma determinada cultura durante seu cultivo (Prevedello et al., 2007; Brito et al., 2009; Pereira et al., 2014; Silva et al., 2014). Estudos referentes ao consumo hídrico do gergelim são escassos na literatura e são necessários para um manejo adequado de modo a aumentar sua produtividade.

O gergelim necessita, como as outras culturas, que haja a correta quantificação do volume de água a ser aplicado no solo para seu máximo rendimento, com o emprego da técnica da irrigação (Nascimento et al., 2011; Mesquita et al., 2013). Portanto, a partir do conhecimento das necessidades hídricas da cultura do gergelim é possível determinar o manejo adequado de água para a cultura.

Assim, o trabalho foi desenvolvido visando a determinação da evapotranspiração da cultura (ETc) e do coeficiente de cultivo (Kc) do gergelim para as condições edafoclimáticas da região semiárida da chapada do Apodi, Rio Grande do Norte.

## Material e métodos

A pesquisa foi realizada na estação experimental da EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, no município de Apodi, Rio Grande do Norte cujas coordenadas geográficas são: latitude 5° 37' 37" S, longitude de 37° 49' 54" W e altitude de 138m (Figura 1). O clima da região é semiárido, segundo a classificação de Thornthwaite, concentração de evapotranspiração potencial no trimestre mais quente (novembro, dezembro e janeiro). Segundo dados da normal climatológica, obtida pelo INMET para o período de 1961-1990, os valores de temperatura máxima e mínima são 34 °C e 22,8 °C, respectivamente, e a precipitação média anual é de 920,8 mm (INMET, 1992). A estação chuvosa ocorre concentrada no verão e outono.

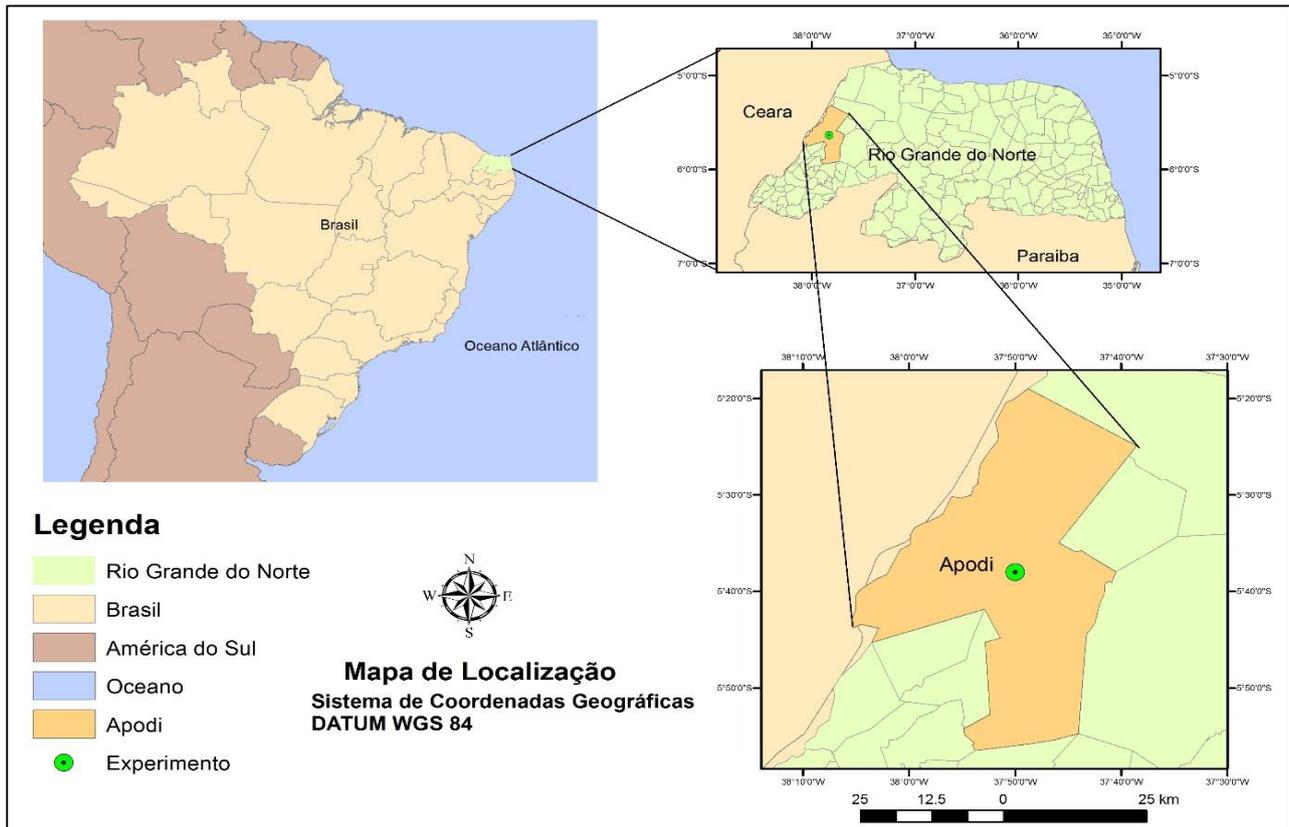


Figura 1 – Localização da área experimental na sede da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) no município de Apodi – RN.

A cultura do gergelim, cultivar BRS Anahi (figura 2) foi semeada numa área de 0,732 ha, num espaçamento de 80 cm entre fileiras por 10 cm entre plantas. A semeadura foi realizada em

06 de agosto de 2015, utilizando-se uma profundidade de plantio de 3 cm.



Figura 2 – Desenvolvimento do cultivar BRS ANAHÍ na área experimental da EMPARN, Apodi, RN, 2015.

Para o plantio foi realizado primeiramente o preparo do solo para a semeadura. Foram traçadas as linhas de plantio com auxílio da plantadeira com o espaçamento de 80 cm (figura 3). O desbaste foi realizado em duas etapas, uma quando as plantas estavam com 4 folhas e outra quando atingiu mais de 10 cm de altura na maioria das plantas.

O controle de pragas foi realizado conforme foi recomendado pela EMBRAPA, sendo feita a amostragem da praga a cada cinco dias, até o final do ciclo da cultura, realizando-se o combate sempre que a praga ultrapassou o nível de controle. A colheita foi feita de forma manual após a maturação dos frutos, aos 97 dias após a germinação.

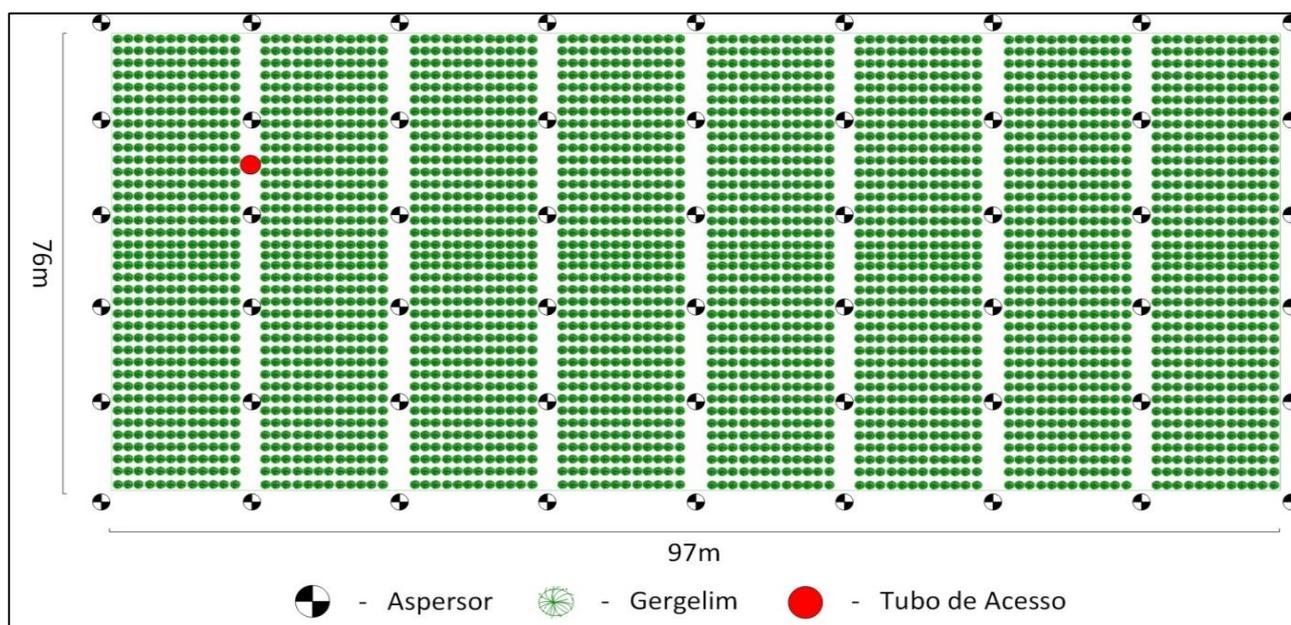


Figura 3 – Delimitação da área experimental. Apodi, RN, 2015. Fonte: Autora.

O trabalho foi realizado em um Cambissolo Eutrófico, com classificação textural

de Franco Arenoso e Franco Argilo-Arenoso, cujas análises físicas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização física do solo da área experimental nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm do solo. Apodi, RN, 2015.

Características	Camadas (cm)		
	0-20	20-40	40-60
Granulometria			
Areia (%)	67,22	50,84	45,29
Silte (%)	15,14	25,35	34,14
Argila (%)	17,64	23,81	20,57
Classificação Textural	Franco Arenoso	Franco Argilo-Arenoso	Franco Argilo-Arenoso
Densidade aparente do solo (g cm <sup>3</sup> )	1,42	1,20	1,21
Densidade de Partículas (g cm <sup>3</sup> )	2,64	2,57	2,67
Porosidade total (%)	46,34	53,23	54,77

Na análise do solo foi obtida a umidade do solo e a água disponível presente no solo nas camadas de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm, estas amostras foram classificadas pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG (Tabela 2).

Tabela 2 – Potencial de umidade no perfil do solo da área experimental ( $m^3 m^{-3}$ ), Apodi, RN.

Potencial de umidade (atm)	Camadas do solo (cm)		
	0-20	20-40	40-60
Natural	0,45	0,69	0,21
0,10	19,68	31,46	30,94
0,33	12,30	19,31	18,88
1,00	10,36	17,07	16,98
5,00	8,28	15,98	15,07
10,0	7,75	13,88	14,75
15,0	7,25	12,36	13,83
Água disponível	6,05	6,95	5,05

As variáveis utilizadas para os cálculos da ETo foram obtidas diariamente no site do INMET ([www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)) a partir da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática do INMET, localizada na fazenda experimental da EMPARN em Apodi-RN.

A determinação da evapotranspiração da cultura (ETc) foi efetuada pelo método do balanço hídrico no solo onde consiste em avaliar, em determinado período de tempo, os vários processos de fluxo da água em um dado volume de solo através da contabilização da precipitação pluvial, da irrigação, da drenagem profunda/ascensão capilar, da variação no armazenamento da água no solo, do escoamento superficial e da evapotranspiração (Prevedello et al 2007; Brito et al 2009; Pereira et al, 2014; Silva et al, 2014).

Nesta pesquisa, o limite superior do volume superior foi considerado, a superfície do solo e o limite inferior, na profundidade de 0,40m que corresponde à profundidade efetiva do sistema radicular do gergelim.

O balanço hídrico no solo foi realizado a cada três dias, na área do experimento, a partir da

equação utilizada por vários autores (Prevedello et al., 2007; Silva et al., 2014; Pereira et al., 2014):

$$P + I - D + A \pm \Delta h \pm R - ETc = 0 \quad (2)$$

Onde ETc a evapotranspiração da cultura; P a precipitação pluvial; I a irrigação; A a ascensão capilar; D a drenagem profunda; R o escoamento superficial;  $\Delta h$  a variação do armazenamento de água no solo. Todas as variáveis desta equação são expressas em mm.

A precipitação pluviométrica foi medida por meio de um pluviômetro instalado em uma Estação Meteorológica Convencional do INMET, localizada na fazenda experimental da EMPARN, próximo à área experimental.

A coleta de dados do experimento foi conduzida a partir do dia 11 de agosto de 2015 e finalizada no dia 31 de outubro de 2015. Durante o período em estudo foram obtidos os seguintes valores médios das variáveis meteorológicas (Tabela 3).

Tabela 3 - Dados meteorológicos médios mensais de pressão atmosférica (Pressão), temperatura do ar: média (T), máxima (T<sub>x</sub>), e mínima (T<sub>i</sub>), precipitação pluviométrica (P) e umidade relativa do ar (UR) do período experimental. Apodi, RN, 2015.

**Dados Meteorológicos INMET**

Mês	Pressão	T	T <sub>x</sub>	T <sub>i</sub>	P	UR
	(hPa)	(°C)			(mm)	(%)
Agosto	999.0	29.0	35.3	22.7	0	48
Setembro	999.0	29.5	36.0	22.8	0	47.8
Outubro	998.4	29.8	36.8	23.1	0	46

Fonte: INMET (2015).

A análise de fertilidade do solo da área experimental apresentou os seguintes resultados: pH = 6,2; Ca<sup>+2</sup> + Mg<sup>+2</sup> = 34,8 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Na = 0,4 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K = 1,6 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; S = 46,8 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H + Al = 23,1 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; T = 69,9 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V = 67,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; P = 10,7 mg dm<sup>-3</sup>; e matéria orgânica = 16,4 g kg<sup>-1</sup>.m

As irrigações foram efetuadas de forma a aplicar água até uma profundidade de 0,40m, correspondente ao perfil atingido pelo sistema radicular da cultura. As lâminas de reposição foram efetuadas com base no consumo da cultura estimados a partir da evapotranspiração de referência e do coeficiente de cultivo (Kc) do gergelim recomendados pela FAO (Allen et al, 2006b).

A evapotranspiração de referência diária (ET<sub>0</sub>) foi obtida pelo modelo Penman-Monteith/FAO, em mm.d<sup>-1</sup>, utilizando a expressão (Allen et al., 2006a):

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left( \frac{900 U_2}{T + 237} \right) (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

Onde ET<sub>0</sub> é a evapotranspiração de referência, em mm dia<sup>-1</sup>; Δ é a declividade da curva de pressão de vapor no ponto correspondente a temperatura (kPa °C<sup>-1</sup>); R<sub>n</sub> é o saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>); G é o fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>); γ é o fator psicrométrico (kPa °C<sup>-1</sup>); T é a temperatura média diária do ar (°C); U<sub>2</sub> é a velocidade média diária do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>); e<sub>s</sub> é a pressão de saturação do vapor de água (kPa); e<sub>a</sub> é a pressão atual do vapor de água (kPa).

O conteúdo volumétrico da umidade do solo foi determinado diariamente, utilizando-se uma sonda Diviner 2000® (Sentek Pty Ltda, Austrália), que tem como princípio a reflectometria por domínio de frequência. O equipamento consiste de um coletor de dados (datalogger) acoplado, via cabo, a um sensor, que, inserido em um tubo de acesso instalado no solo faz as leituras do conteúdo de água no solo conforme mostra a figura 4.



Figura 4 – Sonda Diviner 2000® e seus componentes. Fonte: Fondriest Environmental (2015)

Automaticamente, são geradas leituras do conteúdo de água, com base na medida da constante dielétrica ou capacitância da matriz do solo (ar, água, solo), obtida por meio de frequência de ondas eletromagnéticas, que atravessam o volume do solo (Franco, 2009).

Como a Diviner 2000 não oferece exatidão nos valores da contagem de frequência, foi utilizada a normalização desta medida que consistiu primeiro em fazer leituras no tubo de acesso (PVC) longe do ar e da água, os valores da frequência relativa (FR) foram obtidos e convertidos para cada camada do solo com a equação de calibração conforme recomendada pela SENTEK (2009).

O escoamento superficial foi considerado nulo uma vez que a área do experimento é plana.

A drenagem profunda (D) e/ou a ascensão capilar (A) foram determinadas com base na equação de Darcy, que permite a determinação do movimento de água no solo. Os fluxos de água: descendente (D) e ascendente (A), representam a quantidade de água que passa por unidade de área de solo na unidade de tempo, expressa em  $\text{cm.h}^{-1}$ .

O gradiente  $\delta\Psi/\delta Z$  representa a variação da energia da água no solo em relação à distância Z, sendo responsável pelo movimento de água no solo.  $K(\theta)$  é o coeficiente de proporcionalidade entre o fluxo e o gradiente, isto é, a condutividade hidráulica do solo, que é a propriedade que

expressa a facilidade com que a água se movimenta no solo. A condutividade hidráulica é função da umidade do solo, alcançando o máximo quando o solo está saturado, denominando-se condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ).

Considerando o fluxo vertical, o gradiente  $\delta\Psi/\delta Z$  pode ser aproximado por uma diferença finita  $\Delta\Psi/\Delta Z$  entre o nível inicial (i) e final (f) da camada de solo considerada, ou seja,  $(\Psi_f - \Psi_i)/(Z_f - Z_i)$ . Deste modo, a equação de Darcy poderia ser redefinida assumindo a seguinte expressão:

$$D/A = -K(\theta) \left[ \frac{\Psi_f - \Psi_i}{L} \right] \quad (3)$$

Onde  $L = Z_f - Z_i$  e  $\Psi_f - \Psi_i$  são os potenciais hidráulicos nos níveis:  $Z_f$  e  $Z_i$ , respectivamente.

Para obtenção dos coeficientes de ajuste da curva de retenção de umidade para cada camada de solo, foi utilizado o modelo de Van Genuchten (1980), de acordo com a seguinte equação:

$$\Psi_m = \frac{\left[ \left( \frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right]^{\frac{1}{n}}}{\alpha} \quad (4)$$

Onde  $\theta$  é o conteúdo volumétrico de água no solo;  $\theta_s$  é a umidade volumétrica no momento da saturação;  $\theta_r$  é a umidade volumétrica residual a

1500 kPa, todas expressas em  $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ;  $\psi_m$  é o potencial matricial do solo (kPa);  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  são constantes empíricas que afetam a forma da curva de retenção.

A condutividade hidráulica do solo não saturado  $K(\theta)$  foi obtida por meio da equação proposta por Van Genuchten (1980):

$$K(\theta) = K_0 Se^l \left[ 1 - \left( 1 - Se^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (5)$$

Onde  $K_0$  é a condutividade hidráulica saturada;  $l$  é um parâmetro empírico, igual a 0,5 (Mualen, 1976);  $m = 1 - \frac{1}{n}$ ;  $Se$  é a saturação efetiva;  $\theta$  é a umidade volumétrica;  $\theta_s$  é a umidade volumétrica no momento da saturação;  $\theta_r$  é a umidade

volumétrica residual à 1500 kPa, todas expressas em  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ .

A saturação efetiva ( $Se$ ) foi obtida pela seguinte equação:

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (6)$$

Foi realizado o teste de infiltração para obtenção da condutividade hidráulica em diferentes pontos da área experimental, conforme a metodologia usada por Carvalho et al. (2009). As curvas ajustadas de retenção de umidade do solo, para as camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm do perfil do solo são apresentadas na Figura 5.

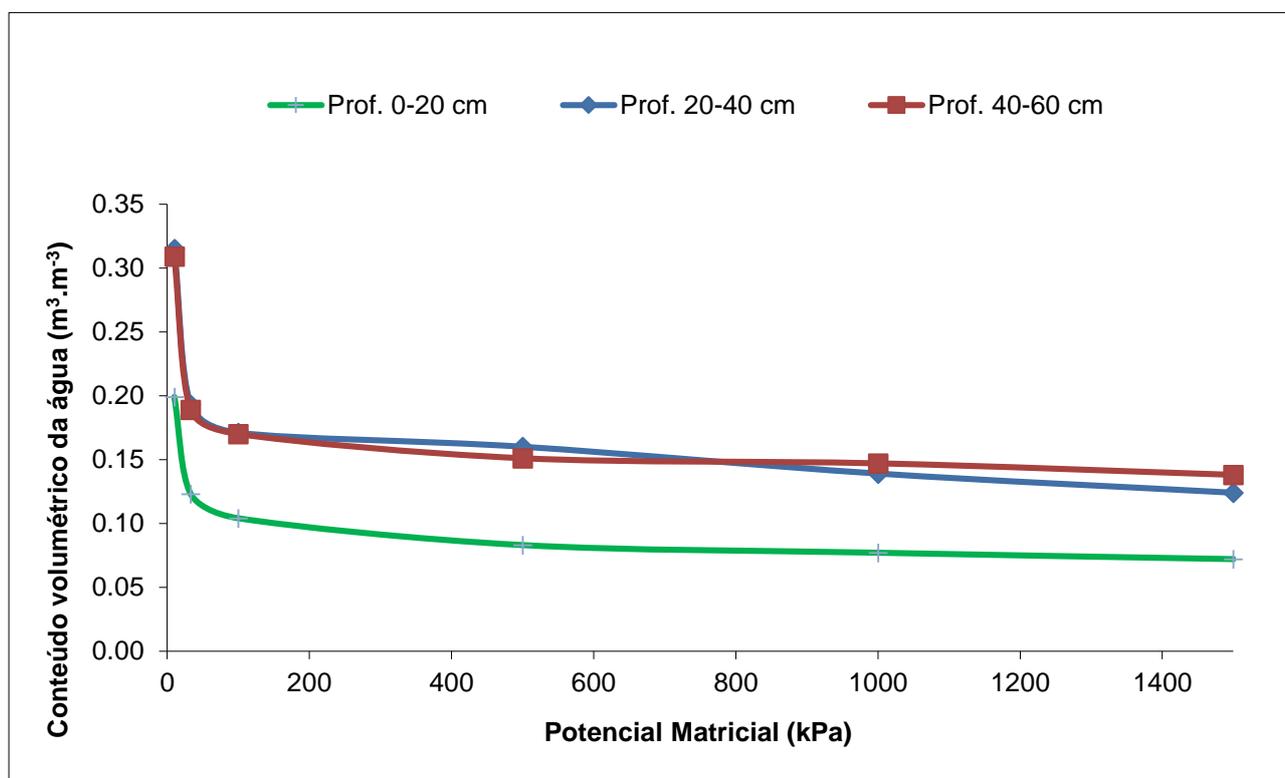


Figura 5 - Curva de retenção do conteúdo de água do solo da área experimental nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm do perfil do solo da área experimental. Apodi, RN, 2015.

Os dados da curva foram ajustados conforme o modelo de Van Genuchten (1980) por regressão polinomial utilizando o software SWRC versão 3.0 Beta (Dourado Neto et al., 2000).

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos com os parâmetros como  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$  = parâmetros das curvas de retenção do conteúdo de água no solo (adimensionais), desde que  $\theta \ll 1$ ,  $\theta < m <$

$1$  e  $n > 1$ ;  $\theta_s$  = conteúdo de água na saturação ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );  $\theta_r$  = conteúdo de água residual ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );  $K_0$  = condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm d}^{-1}$ ).

Tabela 4 – Valores dos parâmetros de ajuste obtidos pelo modelo de Van Genuchten (1980) da curva de retenção do conteúdo de água no solo e da condutividade hidráulica da área experimental. Apodi, RN, 2015.

Parâmetros	Camadas (cm)		
	0 – 20	20 – 40	40 – 60
A	1,3565	1,1232	0,6696
M	0,2133	0,2226	0,2616
N	2,7852	2,7852	3,243
$\Theta_r$	0,067	0,115	0,136
$\Theta_s$	0,717	1,011	1,007
Ko	912,0	240,0	48,0

O armazenamento de água no solo ( $\Delta AM$ ), dado em mm, foi calculado utilizando a regra do trapézio, considerando-se que as medidas foram realizadas em intervalos igualmente espaçados da superfície ( $z = 0$ ) até a profundidade de interesse ( $z = L$ ), conforme já utilizado por Brito et al. (2009) e Silva et al., (2014).

$$\Delta AM = \int_0^L \theta(z) dz = [0,5\theta(z_0) + \sum_{i=1}^{n-1} \theta(z_i) + 0,5\theta(z_n)] \Delta z \quad (7)$$

Onde  $\theta$  é a umidade média do perfil do solo considerado ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ );  $Z$  é a espessura da camada do solo (cm).

A variação do armazenamento no perfil do solo considerado foi obtida com a equação:

$$\Delta Ah = Ah_t - Ah_{(t-1)} \quad (8)$$

Onde  $\Delta Ah$  é a variação do armazenamento de água no solo, no período de tempo considerado, em mm;  $t$  é o intervalo de tempo, em dia;  $Ah_t$  e  $Ah_{(t-1)}$  são as lâminas totais de água remanescentes no perfil do solo nos instantes  $t$  e  $t-1$ , em mm, respectivamente.

O coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) ao longo do ciclo de produção da cultura foi obtido com a seguinte fórmula:

$$K_c = \frac{ETc}{ETo} \quad (9)$$

### Resultados e discussão

A fenologia do gergelim, BRS Anahi, foi dividida em quatro fases em função dos principais processos fisiológicos da cultura conforme recomendado por Allen et al. (2006a), e os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Ciclo fenológico do gergelim, BRS Anahi em suas fases fenológicas, no período de 11/08 a 31/10/2015, Apodi-RN, 2015.

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

Com as observações obtidas em campo, constatou-se que a Fase I, período da emergência das plantas até 10% de cobertura do solo, teve duração de 13 dias. A Fase II, que ocorreu da cobertura de 10% do solo ao início da floração, correspondendo ao período de desenvolvimento vegetativo teve e duração de 22 dias. A Fase III, ocorreu com o início da floração até o início da maturação, correspondendo ao período reprodutivo da cultura, teve uma duração de 33 dias. A Fase IV que correspondeu à fase de maturação da cultura, ocorreu do início da maturação ao final do ciclo da cultura, com uma duração de 14 dias.

O gergelim BRS Anahi teve um ciclo inferior ao da BRS Seda (Grilo Junior e Azevedo, 2013) e ao da BRS 196 CNPA G4 (Pereira et al., 2014), ambas com total de 90 dias. A partir destes resultados a cultivar BRS Anahi, pode ser classificada como de ciclo curto.

Os valores da evapotranspiração de referência, médias diárias e acumulados por fase

fenológica da cultura, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) média diária e acumulada por período fenológico, utilizando-se o método de Penman- Monteith no período experimental. Apodi-RN, 2015.

Fase Fenológica	Período (DAE)	Duração (Dias)	Evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> )	
			Acumulada (mm)	Média Diária (mm d-1)
Fase I	1 – 13	13	93,9	7,2
Fase II	14 – 35	22	165,6	7,5
Fase III	36 – 68	33	260,7	7,9
Fase IV	69 – 82	14	115,6	8,3
Total		82	635,7	-

A evapotranspiração de referência, durante o ciclo da cultura foi crescente com um valor médio de 7,2 mm dia<sup>-1</sup> na fase inicial do cultivo, aumentando de forma linear, chegando a 8,3 mm dia<sup>-1</sup> no final do ciclo da cultura (Fase IV).

Considerando que a evapotranspiração de referência está diretamente associada à demanda atmosférica (Allen et al., 2006b; Bezerra et al., 2010; Carvalho et al., 2011) os valores obtidos estão diretamente relacionados às condições atmosféricas existentes na área experimental, conforme já observados por outros autores (Bezerra et al., 2012; Silva et al., 2014a).

Avaliando-se os componentes do balanço de água no solo, convém informar que durante o período experimental não ocorreram precipitações pluviométricas, sendo a irrigação a única entrada de água no solo e o escoamento superficial foi desprezado em decorrência da área do experimento apresentar uma topografia plana.

Observando-se os valores das irrigações, verifica-se que foram aplicados 50,9 mm na fase inicial do cultivo e o máximo ocorreu na fase reprodutiva da cultura com um valor de 276,2 mm.

Durante o ciclo da cultura, observa-se que houve perda de água por drenagem, embora os

valores observados evidenciem uma pequena contribuição deste componente no total do balanço. Observa-se também uma pequena variação no armazenamento de água do sistema indicando pequena contribuição deste componente na contabilização total do balanço de água.

A evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) foi determinada utilizando-se o balanço hídrico no solo calculada para períodos de 3 dias, sendo os componentes do balanço hídrico para as quatro fases do ciclo da cultura do gergelim, apresentados na Tabela 7.

Avaliando-se os dados de evapotranspiração da cultura, observa-se que o consumo hídrico da cultura foi crescente a partir da emergência das plantas (Fase I) até a floração/frutificação (Fase III) com valores médios de 3,7 mm dia<sup>-1</sup> a 8,1 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente, decrescendo em seguida para alcançar um valor médio de 4,9 mm dia<sup>-1</sup>, na Fase IV.

Comportamento semelhante foi observado por Amaral & Silva (2008) e Pereira et al. (2014) no gergelim cultivar BRS 196 CNPA G4. Ao mesmo tempo, Jalota et al. (2006) e Amaral e Silva

(2008) informam que a máxima demanda evapotranspirativa da cultura ocorre no período reprodutivo.

Tabela 7 – Componentes do balanço hídrico no solo para o gergelim no período experimental. Valores acumulados da irrigação (I), drenagem (D), variação de armazenamento de água no solo ( $\Delta AM$ ), evapotranspiração da cultura (ETc) e valores médios diários da ETc. Apodi-RN, 2015.

Fase Fenológica	Período (DAE)	Duração (dias)	I	D	$\Delta AM$	ETc	ETc
			(mm)				(mm d-1)
Fase I	1 – 13	13	50,9	4,9	-0,6	43,8	3,7
Fase II	14 – 35	22	127,1	8,6	0,0	121,7	5,5
Fase III	36 – 68	33	276,2	10,5	-3,8	268,5	8,1
Fase IV	69 – 82	14	80,8	3,3	-1,0	68,2	4,9
Total		82	534,9	27,3	-5,4	502,2	-

Avaliando-se os dados de evapotranspiração da cultura apresentados na Tabela 6, observa-se que o consumo hídrico da cultura foi crescente a partir da emergência das plantas (Fase I) até a floração/frutificação (Fase III), com valores de 3,7 mm dia<sup>-1</sup> a 8,1 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente, após esta fase, os valores da ETc, voltaram a cair.

Na variação do armazenamento de água no solo ( $\Delta AM$ ) foram encontrados valores negativos e tais valores podem ser explicados por ocorrer nessas fases uma maior evaporação do solo devido ao fato da cultivar ter pouca cobertura vegetal. Outro motivo para a planta ter sofrido falta de água foi devido ao seu consumo e a drenagem que tinham valores próximos da

irrigação, por mais que o volume de água na irrigação tenha sido satisfatório, a planta não conseguiu armazenar água no solo.

Em relação à evapotranspiração da cultura percebe-se no gráfico (Figura 6), que foi bastante variável durante o ciclo fenológico, apresentando valores diários máximos de 11,59 mm na fase III e mínimo de 2,69 mm na fase IV final da cultura.

Esta grande variação ao longo do ciclo decorreu provavelmente devido a oscilação das variáveis meteorológicas observadas na área o que também já foi referido por Bezerra et al. (2010) ao mesmo tempo que outros autores (Farahani et al. 2008), informam que as variáveis meteorológicas são caracterizadas pela radiação solar global, velocidade de vento e umidade relativa do ar.

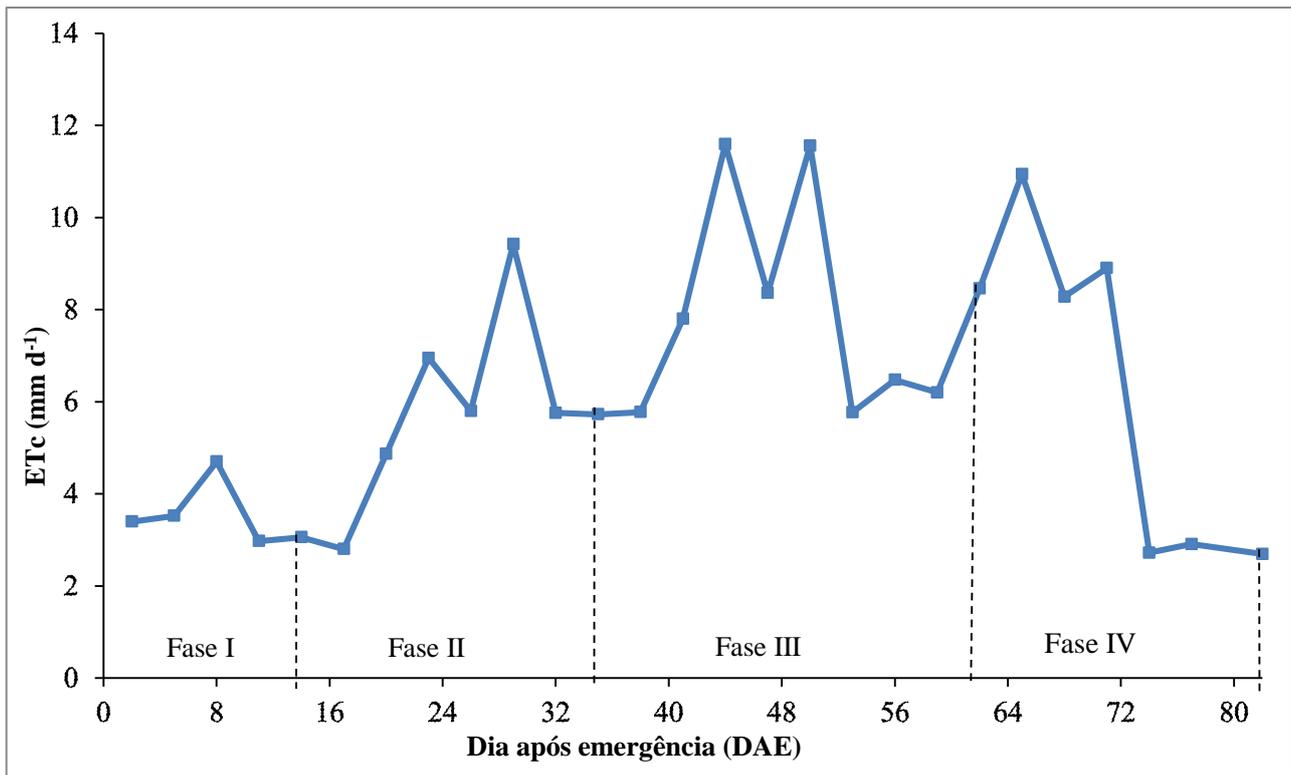


Figura 6 – Comportamento da evapotranspiração da cultura do gergelim (ETc). Apodi, RN, 2015.

Observando a comportamento do gergelim no gráfico (Figura 6) é possível observar que a evapotranspiração da cultura aumentou na fase II e III, ocorreu quando a planta teve um maior volume de água disponível, também o aumento da sua área foliar e o surgimento das flores.

O coeficiente de cultivo (Kc) médio para cada fase fenológica do gergelim é apresentado na Tabela 8. A tabela foi gerada a partir da relação da ETo, obtida pelo método de Penman- Monteith e da ETc pelo balanço hídrico no solo foi obtido o Kc médio para cada fase fenológica do gergelim.

Tabela 8 - Valores médios do coeficiente de cultivo (Kc) do gergelim para as quatro fases fenológicas da cultura. Chapada do Apodi-RN, 2015.

Fase Fenológica	Kc	Duração (dias)	Período (DAE)	Kc médio
Fase I – emergência a 10% de cobertura do solo	Kc inicial	13	1 – 13	0,51
Fase II – 10% de cobertura ao início da floração	Kc intermediário	22	14 – 35	0,73
Fase III – início da floração ao início da maturação	Kc médio	33	36 – 68	1,03
Fase IV – início ao final da maturação	Kc final	14	69 – 82	0,59

O coeficiente de cultivo médio apresentou a seguinte variação: 0,51 na Fase I (fase inicial – emergência a 10% de cobertura de solo); 0,73 na

Fase II (fase de crescimento - 10% da cobertura de solo ao início da floração); 1,03 na Fase III (fase intermediária - início da floração ao início da maturação) e 0,59 na Fase IV (fase final - início da

maturação ao final do ciclo da cultura). Estes valores são bastante próximos aos encontrados por Pereira et al. (2014) em um estudo utilizando o gergelim BRS 196 CNPA G4, para as condições semiáridas da região de Barbalha no estado do Ceará e superiores aos resultados obtidos para esta por Amaral e Silva (2008).

Na Figura 7 está representada a curva do coeficiente de cultivo do gergelim, observada nas condições de clima e solo locais e do experimento.

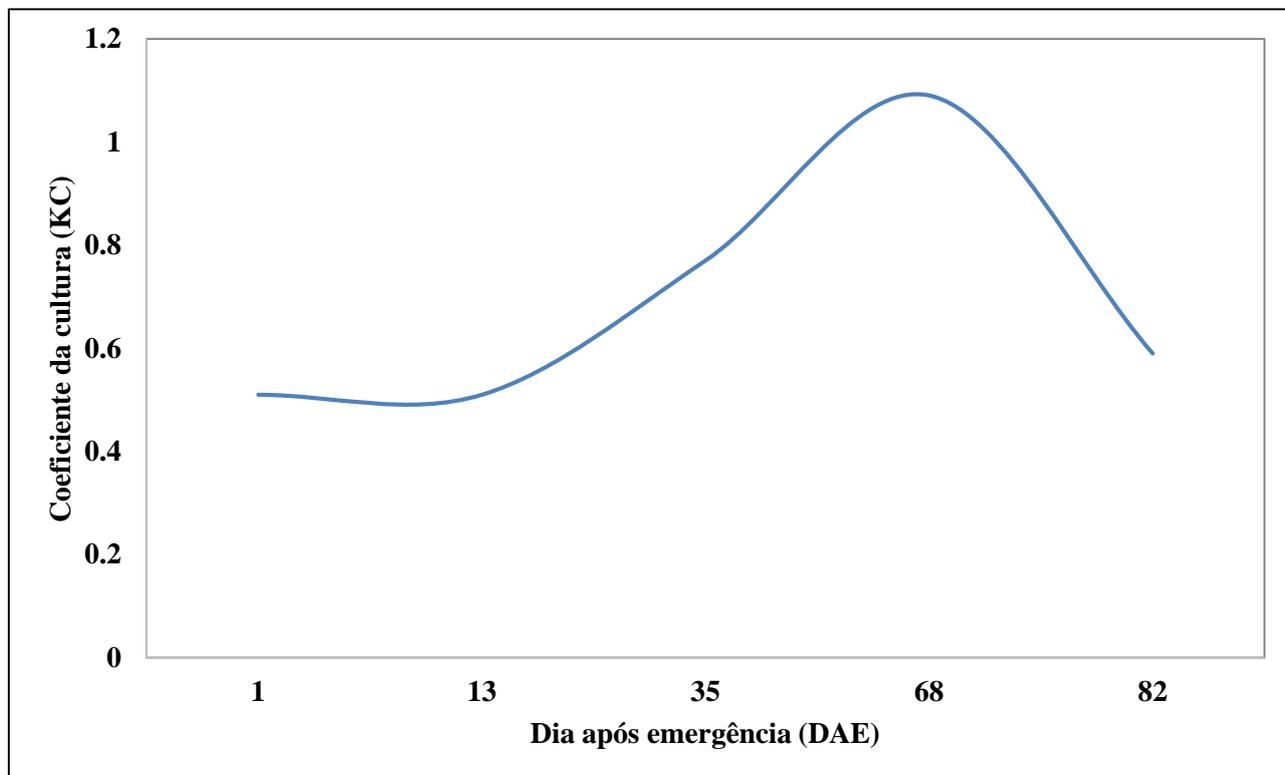


Figura 7- Curva do coeficiente de cultivo do gergelim para a região da Chapada do Apodi-RN.

Da fase inicial ( $K_c = 0,51$ ) até a fase de desenvolvimento reprodutivo (Fase III), o valor do  $K_c$  aumentou até alcançar um valor de 1,03, voltando então a decrescer atingindo um valor médio de 0,59 na fase final do ciclo da cultura. Este comportamento da curva de coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) está de acordo com o observado por Amaral e Silva (2008) e Pereira et al., (2014), para o gergelim, cultivar BRS 196 – CNPA G4.

Para o cálculo da lâmina líquida (Tabela 9) foi utilizada a fórmula de acordo com Allen et al. (1998) e utilizando o  $K_c$  conforme a FAO. As irrigações foram realizadas duas vezes na semana com um total no ciclo de 534,9 mm. O gergelim teve o ciclo de 82 dias, só que aos 80 dias foi suspensa a irrigação da planta, pois se constatou o

estágio de maturação da planta. Dos 534,9 mm de água aplicados, foram distribuídos 50,9 mm na fase inicial, com duração de 13 dias, na fase do desenvolvimento vegetativo aplicou 127,1 mm, com duração de 22 dias, na fase da formação dos frutos aplicou 276 mm, esta fase teve duração de 33 dias e na fase final aplicou 80,8 mm, esta fase teve duração de 14 dias.

Na fase de desenvolvimento produtivo apresenta maiores volumes (276,2 mm), por esta fase necessitar de maiores suprimentos de água por ser a fase com maior índice de evapotranspiração (268,5 mm).

Tabela 9 – Valores das lâminas líquidas aplicadas no gergelim e seu consumo hídrico.

Fase Fenológica	Período (dias)	Irrigação (mm)	ETc (mm)	ETo (mm)
Fase I	13	50,9 (9,5%)	43,8	93,9
Fase II	22	127,1 (23,8%)	121,7	165,6
Fase III	33	276,2 (51,6%)	268,5	260,7
Fase IV	14	80,8 (15,1%)	68,2	115,6
Total	82	534,9	502,2	635,7

Observa-se que mais de 50 % da água aplicada ao longo do ciclo foi na fase III. Esta fase foi a que mais consumiu água em virtude do aumento significativo da cobertura vegetal e consequente aumento da evapotranspiração, necessitando de mais água para a planta. Também foi a fase mais duradoura (33 dias). Na última fase, o consumo hídrico diminuiu conforme os resultados encontrados por Allen et al. (1998).

### Conclusões

A cultura do gergelim cultivar BRS Anahi apresenta ciclo fenológico de 82 dias, assim distribuídos: 13 dias na fase inicial, 22 dias na fase de desenvolvimento vegetativo, 33 dias na fase de formação e maturação dos frutos e 14 dias na final do ciclo da cultura;

O consumo hídrico da cultura do gergelim (BRS Anahi) gira em torno de 500 mm por ciclo, sendo mais de 50% (268,5 mm) consumidos na fase de formação e maturação dos frutos;

O coeficiente de cultivo (Kc) médio por fase fenológica corresponde a 0,51 na fase I; 0,73 na fase II; 1,03 na fase III e 0,59 na fase IV.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao financiamento deste estudo pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de mestrado ao autor principal, ao CNPQ pelo pela concessão da bolsa de mestrado ao terceiro autor, a EMPARN e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, por lhes permitir utilizar as suas instalações físicas de Laboratórios, Biblioteca e Estações Experimentais de campo.

### Referências

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. Organización de las Naciones Unidas para la

Agricultura y la Alimentación. (Estudio FAO, Riego y Drenaje 56), 2006a.

Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Disponível: <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>. Acesso: 12 set. 2015.

Allen, R.G., Pruitt, W.O., Wright, J.L., Howell, T.A., Ventura, F., Snyder, R., Itenfisu, D., Steduto, P., Barenegone, J., Yrisarry, J.B., Smith, M., Pereira, L.S., Raes, D., Perrier, A., Alves, I., Walter, I., Elliott, R., 2006b. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method. *Agricultural Water Management* 81, 1-22.

Amaral, J.A.B. do, Silva, M.T., 2008. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do gergelim por manejo de irrigação. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras* 12, 25-33.

Arriel, N.H.C., Beltrão, N.E.de.M., Firmino, P.de.T. EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009. Gergelim: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Disponível: <https://www.embrapa.br/algodao/busca-de-publicacoes/-/publicacao/580929/gergelim-o-produtor-pergunta-a-embrapa-responde>. Acesso: 02 Out. 2015.

Bezerra, B.G., Silva, B.B., Bezerra, J.R.C., Brandão, Z.N., 2010. Evapotranspiração real obtida através da relação entre o coeficiente dual de cultura da FAO-56 e o NDVI. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25, 147-155.

Bezerra, B.G., Silva, B.B., Bezerra, J.R.C., Sofiatti, V., Santos, C.A.C.dos., 2012. Evapotranspiration and crop coefficient for sprinkler-irrigated cotton crop in Apodi Plateau semiarid lands of Brazil. *Agricultural Water Management* 107, 86-93.

- Brito, A.dos.S., Libardi, P.L., Ghiberto, J.P., 2009. Componentes do balanço de água no solo com cana-de-açúcar, com e sem adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 33, 295-303.
- Carvalho, J.F.de., Pinheiro, L.da.C., Albuquerque, F.da.S., Possas, J.M.C., Júnior, C.C.P., Jesus, C.G.de., Silva, E.F.de.F., 2009. Avaliação da infiltração da água no solo pelo método do infiltrômetro de anel com carga variável e pelo modelo de Kostiaikov. In: IX Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão, Recife, PE.
- Carvalho, L.G.de, Rios, G.F.A., Miranda, W.L., Castro Neto, P., 2011. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 41, 456-465.
- Dourado Neto, D., Nielsen, D.R., Hopmans, J.W., Reichardt, K.; Bacchi, O.O.S., 2000. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.0). *Scientia Agricola* 57, 191-192.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2015. Cultivares do gergelim. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/gergelim/arvore/CONT000gkv1h5yr02wx5ok0xkgyq55vqh6l3.html>> Acesso: 20 maio 2015.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2015. Dados agrícolas de FAOSTAT. Disponível: <<http://apps.fao.org/>>. Acesso: 25 maio 2015.
- Farahani, H.J., Oweis, T.Y., Izzi, G., 2008. Crop coefficient for drip-irrigated cotton in a Mediterranean environment. *Irrigation Science* 26, 375-383.
- Franco, E.M., 2009. Monitoramento da dinâmica da água e solutos em um perfil de solo, sob sistema de fertirrigação por gotejamento, utilizando sonda de capacitância e extratores de solução. Dissertação (Mestrado). Piracicaba, SP.
- FONDRIEST ENVIRONMENTAL. Sentek Diviner 2000 Portátil Soil Moisture Probe, Disponível: <<http://www.fondriest.com/sentek-diviner-2000-portable-soil-moisture-probe.htm>>. Acesso: 14 maio 2015.
- Grilo Junior, J.A.S., Azevedo, P.V., 2013. Crescimento, desenvolvimento e produtividade do gergelim BRS Seda na agrovila de canudos, em Ceará Mirim (RN). *Holos* 2, p. 19-33.
- Jalota, S.K., Sppd. A., Chahal, G.B.S., Choudhury, B.U., 2006. Crop water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Wheat (*Triticum aestivum* L.) system as influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation. *Agricultural Water Management* 84, 137-146.
- Mesquita, J.B.R.de., Azevedo, B.M.de., Campelo, A. R., Fernandes, C.N.V., Viana, T.V.de.A., 2013. Crescimento e produtividade da cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.) sob diferentes níveis de irrigação. *Irriga* 18, 364-375.
- Mualem, Y.A., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour* 12, 513-522.
- Nascimento, J.J.V.R., Azevedo, C.A.V. de, Sousa, J.S.C., Mendes, L.B., Neto, J.D., 2011. Eficiência do uso de água do gergelim em função da água disponível no solo. *Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável* 6, 230-233.
- Pereira, J.R., Araújo, W.P., Almeida, E.S.A.B. de, Bezerra, J.R.C., Guerra, H.O.C., Zonta, J.H., 2014. Sesame crop coefficients using crop evapotranspiration by water balance and, reference evapotranspiration by Penman – Monteith. *Irriga Edição Especial* 01, 72-84.
- Prevedello, C.L., Maggioletto, S.R., Loyola, J.M.T., Dias, N.L., Beppler Neto, G., 2007. Balanço de água por aquisição automática de dados em cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.). *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 31, 1-8.
- SENTEK. Diviner 2000: user guide version 1.5. Disponível:[http://www.fondriest.com/pdf/sentek\\_diviner\\_manual.pdf](http://www.fondriest.com/pdf/sentek_diviner_manual.pdf). Acesso: 21 maio 2015.
- Silva, R.A.B. da, Lima, J.R.deS., Antonino, A.C.D.; Gondim, P.S.deS.; Souza, E.S. de, Barros Júnior, G., 2014a. Balanço hídrico em neossolo regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 38, 147-157.
- Silva, V. de P.R. da, Borges, C. J. R., Albuquerque, W.G. de, 2014b. Necessidades hídricas da cana-de-açúcar cultivada em clima tropical. *Semina: Ciências Agrárias* 35, 625-632.
- Van Genuchten, M.T., 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society American Journal* 44, 892-898.