

## ***Estimativa do coeficiente da cultura da cana-de-açúcar em função do índice de área foliar***

### ***Estimation of crop coefficient of sugarcane as a function of the leaf area index***

*Samuel Silva<sup>1</sup>, Marcos A. L. Santos<sup>2</sup>, Iêdo Teodoro<sup>3</sup>, José da Silva Sousa<sup>4</sup>, José Dantas Neto<sup>5</sup>,*

**RESUMO:** A cana-de-açúcar vem sendo alvo de pesquisas ultimamente no que diz respeito ao desenvolvimento de técnicas viáveis para a prática da irrigação. Em função disso, esse trabalho teve como objetivo estudar a relação entre índice de área foliar (IAF) e o coeficiente da cultura (Kc). Para tal, foi montado um experimento com cana-de-açúcar na região de Rio Largo, Alagoas, em que se mediu o IAF em dois ciclos de cultivo e ajustou-se o Kc às condições climáticas locais, no período de fevereiro de 2008 a fevereiro de 2009. Os resultados mostraram relação significativa entre o Kc e o IAF, em que a regressão polinomial quadrática utilizada na estimativa do Kc apresentou bom ajuste com  $r^2$  de 0,9342, índice de concordância (d) de 0,9827, raiz quadrada do erro médio (RMSE) de 0,0492 e erro padrão de estimativa (EPE) de 0,539. A correlação entre o Kc real e o estimado pelo IAF teve coeficiente angular (b) de 0,9997 e  $r^2$  de 0,9665, indicando que os valores estimados estiveram dentro da ordem de grandeza para a cana-de-açúcar. Assim, o método de regressão polinomial quadrática é viável para esta finalidade e apresenta-se como ferramenta bastante prática para o manejo da irrigação.

**Palavras-chave:** evapotranspiração, irrigação, biometria, regressão.

**ABSTRACT:** Sugarcane has been the subject of research lately regarding the development of viable techniques for irrigation practice. Accordingly, this work aimed to study the relationship between leaf area index (LAI) and crop coefficient (Kc). For this purpose, an experiment with sugarcane was installed in the region of Rio Largo, Alagoas, on which the LAI was measured in two crop cycles and the Kc was adjusted to local climatic conditions, during February 2008 to February 2009. The results showed significant relationship between Kc and LAI, on which the quadratic polynomial regression used to estimate Kc was well adjusted with  $r^2$  of 0.9342, index of agreement (d) of 0.9827, root mean square error (RMSE) of 0.0492 and standard error of estimate (SEE) of 0.539. The correlation between the actual Kc and the estimated by LAI had slope (b) of 0.9997 and  $r^2$  of 0.9665, indicating that the estimated values were within the order of magnitude for sugarcane. Thus, the quadratic polynomial regression method is feasible for this purpose and presents itself as very practical tool for irrigation management.

**Keywords:** evapotranspiration, irrigation, biometrics, regression.

## **INTRODUÇÃO**

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, o qual, por ser o maior produtor mundial da mesma, possui canaviais espalhados em quase todos os seus ambientes climáticos. Dentre as regiões brasileiras produtoras de cana-de-açúcar, a região Nordeste é a que possui a mais irregular distribuição de chuvas durante o ano Souza et al., (2004), fazendo com que haja a necessidade de técnicas agrícolas como a irrigação para se aumentar a produtividade da cultura

(TEODORO et al., 2009). Para isso, o produtor precisa estar atento às necessidades hídricas da planta ao longo do ciclo de produção, pois o estresse hídrico provocado pelo manejo inadequado da irrigação reflete diretamente no crescimento e na produtividade agrícola e agroindustrial da cultura (LYRA et al., 2010; MACHADO et al., 2009; SANTOS et al., 2009).

A necessidade hídrica da planta pode ser estimada por vários métodos, em que o mais

<sup>1</sup>Mestrando em Engenharia Agrícola na UFCG, sam\_capela@hotmail.com

<sup>2</sup>Mestrando em Agronomia na UNESP-Botucatu-SP, Brasil, liodorio@hotmail.com

<sup>3</sup>Prof. Dr. do CECA/UFAL, jedoteodoro@ig.com.br

<sup>4</sup>Mestrando em Sistemas Agroindustriais, PPGSA/UFCG. E-mail: silva\_agronomo@hotmail.com

<sup>5</sup>Prof. Dr. do CTRN/UFCG, zedantas1955@gmail.com

conhecido e usualmente utilizado é o da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) descrito no boletim FAO-56 por (ALLEN et al. 1998). Este método, apesar de ser bastante preciso e eficiente, requer variáveis meteorológicas locais para ajustar o coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>) que nem sempre o irrigante pode dispor. Assim, para se determinar a lâmina de irrigação de forma precisa, é necessário recorrer a outras alternativas viáveis e que estejam dentro da realidade econômica do produtor.

Dentre as maneiras de se interpretar a demanda hídrica da cultura, uma das mais fáceis é observar sua fisionomia no campo, pois a quantidade de água que a planta necessita depende do seu porte e de suas fases de crescimento e desenvolvimento (KEATING et al., 1999; DOOREMBOS & KASSAN, 1979). Desse modo, torna-se possível utilizar seus dados biométricos para determinar a lâmina de irrigação. Oliveira et al. (1993), ao relacionarem diretamente a ET<sub>c</sub> com o índice de área foliar (IAF), verificaram que o primeiro era uma função quadrática do segundo. No entanto, essa função é restrita às regiões onde a demanda hídrica da atmosfera é pouco variável ao longo do ciclo de produção da cultura, como ocorre em locais de semiárido. Assim, em condições de clima úmido, a relação da ET<sub>c</sub> apenas com o IAF é inviável, necessitando ser incluído mais um parâmetro que represente a demanda hídrica da atmosfera. Alguns autores Ritchie & Burnett, (1971; Stone & Pereira, (1994) contornaram esse problema utilizando o IAF para obter valores de K<sub>c</sub> ajustados à situação.

## MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram realizadas no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (09°28'02"S; 35°49'43"W; 127m) em Rio Largo-AL. Foram obtidos dados de experimentos com os dois primeiros ciclos de produção de vários genótipos de cana-de-açúcar realizados durante o período de fevereiro de 2008 a fevereiro de 2009, em cultivos com irrigação plena por gotejamento. O solo foi classificado por Carvalho (2003) como Latossolo Amarelo coeso argissólico de textura média/argilosa.

O clima da região foi caracterizado, pela classificação de Thornthwaite e Mather, como quente e úmido (B<sub>1</sub>), megatérmico (A<sup>+</sup>),

Essa relação pode ser utilizada pois o índice de crescimento que mais se correlaciona com a demanda de água da cultura é o índice de área foliar (IAF), em que, numa condição de estresse hídrico, a planta reduz estrategicamente o número de folhas verdes para diminuir a transpiração e o gasto metabólico para a manutenção dos tecidos (SMIT & SINGELS, 2006; INMAN-BAMBER et al., 2008). De acordo com Inman-Bamber & Smith (2005), a expansão das folhas é mais afetada pela falta de água do que o alongamento do colmo. Diversos pesquisadores encontraram reduções significativas na área foliar de cultivares de cana-de-açúcar submetida à deficiência hídrica (FARIAS et al., 2008; SMIT & SINGELS, 2006; RAO et al., 2005; ROBERTSON et al., 1999).

Como a área foliar é a superfície da planta que representa sua transpiração, o IAF pode ser usado para se obter a fração da demanda atmosférica equivalente ao K<sub>c</sub> (RITCHIE & BURNETT, 1971; STONE & PEREIRA, 1994). No entanto, essa relação só pode ser utilizada em cultivos em que a planta não sofre estresse hídrico. Pois, ao adotar essa relação em cultivos de sequeiro, os valores de K<sub>c</sub> obtidos não representam a necessidade hídrica da cultura, visto que a área foliar é afetada pelo estresse hídrico em determinados períodos. Assim, esse trabalho teve como objetivo estimar o coeficiente da cultura da cana-de-açúcar em função do IAF medido durante dois ciclos de cultivo com irrigação plena.

com deficiência de água moderada no verão (s) e grande excesso de água no inverno (w<sub>2</sub>).

A precipitação pluvial média da região é de 1.800 mm (Souza et al., 2004).

As variáveis meteorológicas foram obtidas em uma estação automática de aquisição de dados Micrologger CR10X (Campbell Scientific), instalada a 400 m do experimento. Os procedimentos de cálculo de evapotranspiração e balanço de água no solo foram baseados na metodologia do boletim FAO-56 (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*), descrito por Allen et al. (1998).

A evapotranspiração e o coeficiente da cultura foram calculados como se segue:

$$ET_c = K_c \times ET_0 \rightarrow K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (01)$$

Em que  $ET_c$  é a evapotranspiração da cultura ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $K_c$  é o coeficiente da cultura (adimensional); e  $ET_0$  é a evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ ),

calculada pelo método de Penman-Monteith através da Equação 2:

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left( \gamma \frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e)}{\Delta + [\gamma (1 + 0,34 u_2)]} \quad (02)$$

Em que,  $ET_0$  é a evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $\Delta$  é a inclinação da curva da pressão de vapor d'água saturado versus temperatura do ar ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $R_n$  é o Saldo de radiação medida em campo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $G$  é o fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $\gamma$  é o Coeficiente psicrométrico;  $T$  é a temperatura média do ar;  $U_2$  é a velocidade média do vento a 2m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );  $e_s$  é a pressão de saturação do vapor

d'água do ar ( $\text{kPa}$ ) e  $e$  é a pressão do vapor d'água do ar ( $\text{kPa}$ ).

O coeficiente da cultura foi ajustado para as condições climáticas locais, em que o  $K_c$  inicial foi ajustado pelo método gráfico descrito no boletim FAO-56 e o  $K_c$  intermediário e final foram ajustados através da Equação 3, conforme Allen et al. (1998).

$$K_c = K_{c(Tab)} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(RH_{Min} - 45)] \left( \frac{h}{3} \right)^{0,3} \quad (03)$$

Em que,  $K_c$  é o coeficiente basal da cultura;  $K_{c\_Tab}$  é o valor tabelado pela FAO para a cana-de-açúcar;  $u_2$  ( $\text{m s}^{-1}$ ) é a velocidade média do vento a 2,0 m de altura sobre a grama durante o estádio

intermediário ou final;  $RH_{min}$  (%) é o valor médio da umidade relativa do ar diária mínima durante o estádio intermediário ou final; e  $h$  (m) é a altura média do dossel vegetativo da cultura.

A evapotranspiração real da cultura e o coeficiente real da cultura foram calculados conforme as Equações 4 e 5:

$$ET_r = K_s \times K_c \times ET_0 = K_{cr} \times ET_0 = K_s \times ET_c \quad (04)$$

$$K_{cr} = \frac{ET_r}{ET_0} = \frac{ET_c \times K_s}{ET_0} \quad (05)$$

Em que  $ET_r$  é a evapotranspiração real da cultura ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $K_{cr}$  é o coeficiente real da cultura; e  $K_s$  representa os efeitos do déficit de água no solo na

zona radicular sobre a  $ET_c$ , sendo calculado pela Equação 6.

$$K_s = \frac{CAD - D_{r-1}}{(1 - p)CAD} \quad (06)$$

Em que  $K_s$  é o fator de redução da  $ET_c$  dependente da água disponível do solo ( $0 - 1$ );  $D_{r-1}$  é a depleção hídrica na zona radicular do dia anterior (mm);  $CAD$  é a capacidade total de água disponível na zona radicular (mm);  $p$  é a fração da  $CAD$  que a cultura pode extrair da zona radicular sem sofrer estresse de água. Estes parâmetros são utilizados no balanço de água na zona radicular da cultura e são amplamente discutidos por (ALLEN et al., 1998, LYRA et al., 2007a, LYRA et al., 2007b e SILVA et al., 2012).

Os valores de  $K_{cr}$  foram correlacionados com os valores do índice de área foliar (IAF) da cultura na respectiva data em que estes foram obtidos, gerando os valores de coeficiente da cultura ( $K_{cr_{IAF}}$ ) a partir do IAF, com uso regressão polinomial quadrática (Equação 7). Também foram gerados coeficientes de correlação a partir de valores de  $K_{cr_{IAF}}$  (eixo "x") e  $K_{cr}$  (eixo "y") forçados a passar pela origem, gerando o coeficiente angular da regressão linear simples (b) e o coeficiente de correlação de Pearson (r), através da Equação 8 (Moriassi et al., 2007).

$$K_{cr_{IAF}} = a + bIAF + cIAF^2 \quad (07)$$

$$Kcr = bKcr_{IAF} \quad (08)$$

A análise de concordância entre os dados observados e estimados foi realizada através do índice “d” de Willmont (1981), conforme Equação

09, em que os valores podem variar de zero, que indica a nulidade, a 1, indicando a perfeita exatidão.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P'_i| + |O'_i|)^2} \quad (09)$$

Em que N é o número de observações; P<sub>i</sub> é o valor estimado; O<sub>i</sub> é o valor observado; P'<sub>i</sub> é o valor estimado subtraído da média da variável observada; O'<sub>i</sub> é o valor observado subtraído da média da variável observada.

modelo quadrático e sintetizar a diferença média entre os valores de Kcr observados e estimados. A unidade da RMSE é a mesma utilizada pelas variáveis observadas e estimadas, neste caso, adimensional. O modelo é melhor ajustado quando a RMSE se aproxima de zero (LOAGUE & GREEN, 1991):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2} \quad (10)$$

As análises mensais de área foliar e índice de área foliar da cultura foram realizadas após a fase

de brotação, conforme a metodologia de Hermann e Câmara (1999), descrita pelas Equações 11 e 12:

$$AF = C \times L \times 0,75(N + 2) \quad (11)$$

Em que AF é a área foliar (m<sup>2</sup>); C é o comprimento da “folha +3” (m); L a largura da “folha +3” (m); 0,75 é o fator de correção de geometria para folhas

de cana-de-açúcar; e N é o número de folhas totalmente expandidas.

$$IAF = \frac{AF \times NP}{E \times H} \quad (12)$$

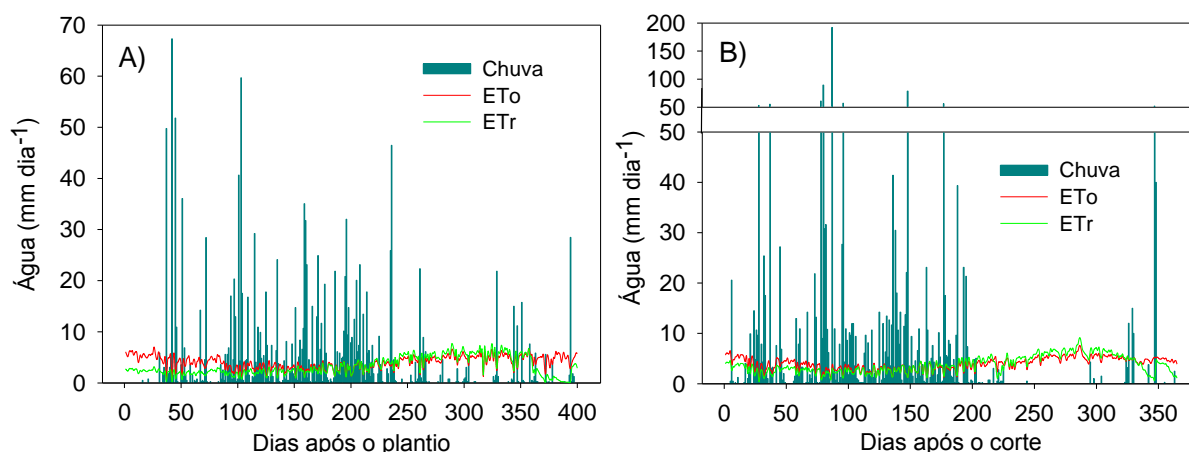
Em que IAF é o índice de área foliar da cultura (adimensional); NP é o número de perfilhos na linha de contagem; E é o espaçamento médio entre

linhas (m); e H é o comprimento da linha de contagem dos perfilhos (m).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação pluvial durante o primeiro ciclo de produção da cultura (de 17 de janeiro de 2007 a 21 de fevereiro de 2008 – 400 dias) somou 1.592 mm, mas cerca de 62% (985 mm) dessas chuvas ocorreram entre os meses de abril e agosto de 2007 com média de 6,4 mm dia<sup>-1</sup>, apresentando distribuição irregular e com intensidades bastante variáveis (Figura 1A). No entanto, a chuva mais intensa ocorreu no dia 28 de fevereiro de 2007, quando foi registrado 67,3 mm dia<sup>-1</sup>. No segundo ciclo de produção (de 22 de fevereiro de 2008 a 20 de fevereiro de 2009 – 364 dias) a chuva total foi de 1.919 mm, em que 74% (1.429 mm) desse total

ocorreram entre abril e agosto de 2008 com média de 9,3 mm dia<sup>-1</sup> e máxima de 192 mm dia<sup>-1</sup> no dia 18 de maio de 2008 (Figura 1B). Essa irregularidade é comum na região, pois Souza *et al.* (2004) analisaram a ocorrência de chuvas em várias décadas e observaram que na zona canavieira alagoana a precipitação pluvial normal é 1.300 mm ao ano. Porém, na região de Rio Largo, a média pluviométrica anual é 1.800 mm, sendo que aproximadamente 70% das chuvas se concentram no período de abril a agosto, enquanto 30% distribuem-se de outubro a fevereiro.



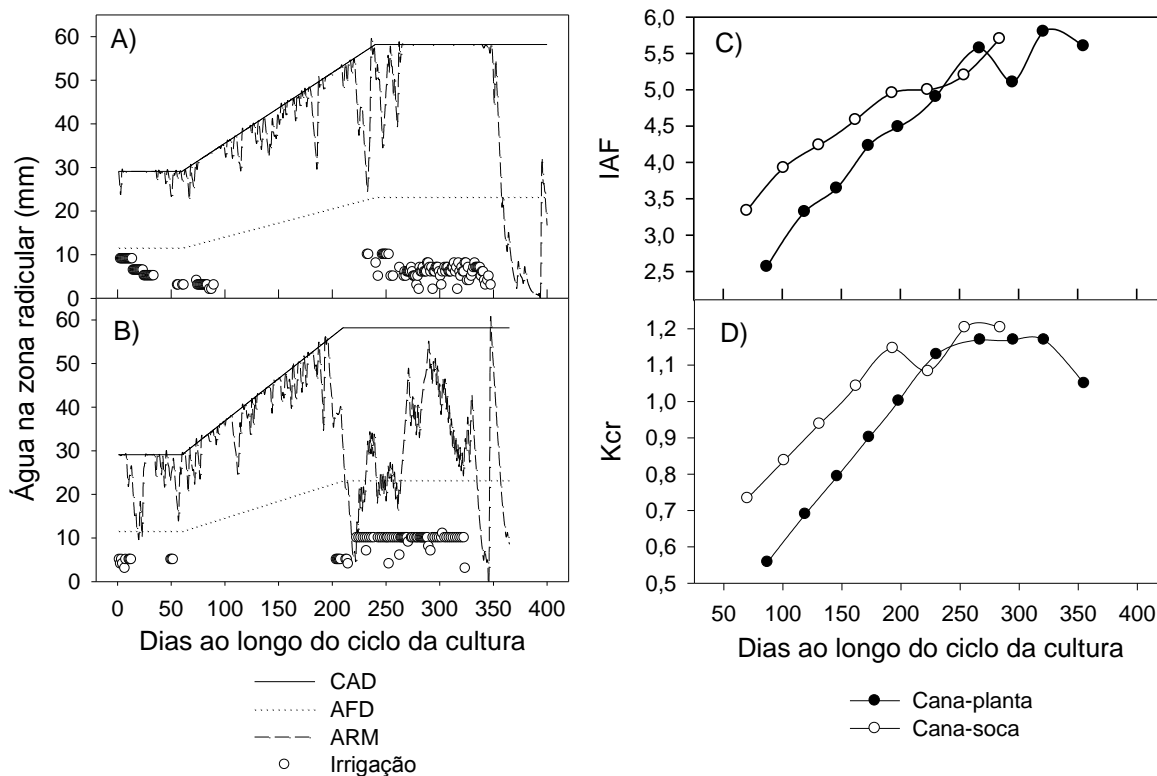
**Figura 1.** Evapotranspiração real da cultura (ET<sub>r</sub>), evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) e distribuição de chuvas ao longo do ciclo de produção da cana-planta (A) e soca (B), no período de fevereiro de 2008 a fevereiro de 2009, na região de Rio Largo-AL

A demanda atmosférica padrão (ET<sub>0</sub>) total no primeiro e no segundo ano de cultivo foi 1.620 mm e 1.458 mm, com média diária de 4,1 mm dia<sup>-1</sup> e 4,0 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente. A evapotranspiração real da cultura (ET<sub>r</sub>) no primeiro ciclo de produção totalizou 1.294 mm com média diária de 3,2 mm dia<sup>-1</sup> e no segundo ciclo somou 1.384 mm com média diária de 3,8 mm dia<sup>-1</sup>. No entanto, durante as fases iniciais de crescimento e desenvolvimento da cultura (0 a 240 dias após o plantio) em seu primeiro ciclo as médias diárias da ET<sub>0</sub> e ET<sub>r</sub> foram de 3,6 mm dia<sup>-1</sup> e 2,4 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto que na fase de crescimento máximo (241 a 340 dias após o plantio) a ET<sub>0</sub> e ET<sub>r</sub> diárias foram em médias iguais a 4,8 mm dia<sup>-1</sup> e 5,6 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente. No segundo ciclo de produção, até aos 210 dias após o corte, as médias diárias da ET<sub>0</sub> e ET<sub>r</sub> foram de 3,4 mm dia<sup>-1</sup> e 2,9 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto que entre 211 e 305 dias após o corte a ET<sub>0</sub> e ET<sub>r</sub> diárias foram em torno de 4,9 mm dia<sup>-1</sup> e 5,6 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente.

Essas diferenças são devido ao fato de que no

início do ciclo de cultivo a demanda hídrica da cultura é menor que a demanda atmosférica de referência, superando-a na medida em que se aproxima da fase de crescimento máximo. Na fase final dos dois ciclos a ET<sub>r</sub> foi reduzida drasticamente devido ao estresse hídrico provocado, pois a proximidade da colheita exige estresse hídrico para induzir as plantas à maturação, ou seja, diminuir o consumo de água e as reações metabólicas, induzindo a translocação e o armazenamento dos açúcares (CASTRO, 2002).

O armazenamento de água no solo (ARM) no primeiro dia do ciclo de produção da cultura foi considerado igual ao da capacidade de água disponível (CAD = 29,1 mm) a 30 cm de profundidade, pois essa é a condição inicial para o balanço de água no solo (Figura 2A e 2B). No decorrer da fase de crescimento inicial do primeiro ano (1 a 60 dias após o plantio), o ARM esteve sempre próximo à CAD, pois foram aplicadas lâminas frequentes de irrigação. No segundo ano, houve uma pausa na irrigação devido às chuvas ocorridas nessa fase (0 a 60 dias após o corte).



**Figura 2.** Balanço de água na zona radicular e lâminas de irrigação na cana-planta (A) e soca (B); índice de área foliar ao longo do ciclo de cultivo (C) e valores de Kcr obtidos nos dias correspondentes ao IAF (D), no período de fevereiro de 2008 a fevereiro de 2009, na região de Rio Largo-AL

Durante a fase de crescimento da cultura no primeiro e segundo ano (61 a 240 e 61 a 210 dias ao longo do ciclo, respectivamente), observou-se que o armazenamento de água no solo esteve acima do limite crítico de umidade (ARM > AFD), ou seja, a cultura não sofreu estresse hídrico, devido à alta frequência e intensidade de chuvas. No decorrer desse período, a CAD apresentou tendência crescente e variou em torno 29,2 a 58,2 mm entre o início e o final dessa fase, respectivamente. Essa alteração também foi observada no limite da AFD, a qual variou de 11,7 mm a 23,3 mm. Esse aumento está relacionado com a capacidade de absorção de água em função do crescimento da raiz, a qual nos primeiros dias se concentrou nos primeiros 30 cm de profundidade e no decorrer do ciclo de produção atingiu cerca de 60 cm de profundidade efetiva. Além disso, houve a influência do crescimento da parte aérea da cultura, fazendo com que a taxa de transpiração fosse maior, elevando a demanda hídrica e a absorção de água a maiores profundidades.

Na fase intermediária do primeiro e segundo ano (241 a 340 e 211 a 305 dias ao longo do ciclo,

respectivamente), quando a cultura estava em crescimento máximo, foi aplicada a maior parte das lâminas de irrigação, pois coincidiu com o período seco da região que vai de setembro a março e, como o ARM foi diminuindo devido ao consumo de água pela cultura, chegou ao ponto de precisar de irrigação. Após essa fase, o ARM tendeu a ser menor que a AFD por causa do estresse hídrico provocado para a maturação da cultura.

As variações dos valores do IAF acompanharam proporcionalmente as do Kcr, sendo o IAF máximo da cana-planta e soca igual a 5,6 e 5,7, respectivamente (Figura 2C e 2D). No entanto, a cana-soca atingiu o valor máximo em 284 dias, enquanto que na cana-planta o IAF máximo foi atingido em 355 dias devido à maior duração do ciclo de produção.

Com os dados medidos do IAF dos dois ciclos de cultivo e com os valores do coeficiente da cultura ajustados pelo método da FAO-56 (Kcr), obteve-se a seguinte relação na análise de regressão polinomial quadrática:

$$Kcr_{IAF} = -0,5517 + 0,5005 \times IAF - 0,0343 \times IAF^2 \quad (r^2 = 0,9342)$$

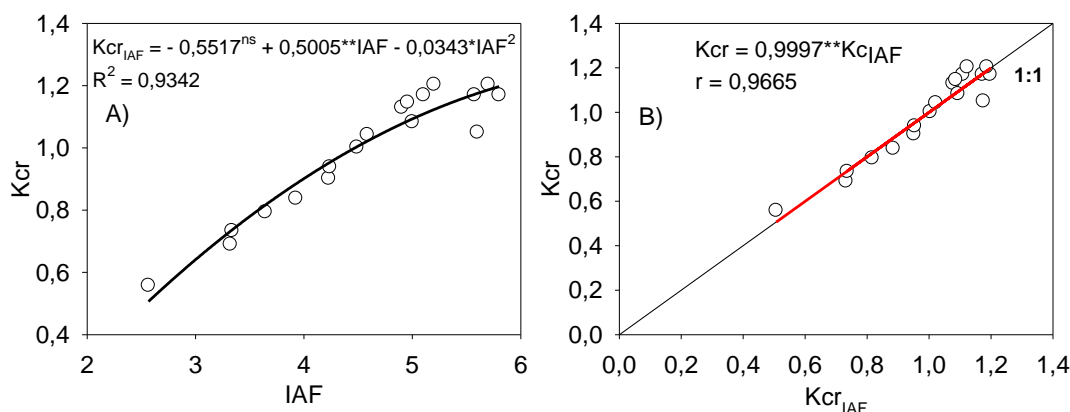
Os valores de Kcr observados e estimados pelo modelo matemático apresentaram alto índice de concordância (d=0,9827) e baixo erro de estimativa

(RMSE=0,0492 e EPE=0,539), conforme a Tabela 1. Além disso, o  $r^2$  foi de 0,9342 e os coeficientes significativos pelo teste-t ao nível de 0,05,

mostrando relação significativa entre Kcr e IAF e que o método de regressão polinomial quadrática é viável para esta finalidade (Figura 3A). Isso indica que em condições de manejo adequado da irrigação o aumento do IAF requer maior lâmina de irrigação, sendo um uma função do outro

**Tabela 1.** Índice de concordância (d), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e erro padrão da estimativa para o modelo quadrático de estimativa do Kc da cana-de-açúcar em função do IAF

d	RMSE	EPE
0,9827	0,0492	0,539



**Figura 3.** Estimativa do Kc da cana-de-açúcar em função do IAF (A) e correlação de Pearson (B) entre os valores de Kc ajustado pelo método da FAO-56 (Kcr) e os estimados pelo IAF ( $Kcr_{IAF}$ ), no período de dois ciclos de cultivo entre fevereiro de 2008 e fevereiro de 2009, na região de Rio Largo-AL

O coeficiente b (0,5005) representa a exposição das folhas à atmosfera e a interação entre ambas, ou ainda a fração da demanda atmosférica para cada unidade de IAF. Porém, a perda de água do conjunto solo-planta em um determinado valor de IAF é regulada pelo coeficiente c (-0,0343), o qual impõe um limite intrínseco no Kcr em função da grandeza específica do IAF da cana-de-açúcar.

A correlação entre o coeficiente da cultura ajustado pelo método da FAO-56 (Kcr) e o estimado através do IAF ( $Kcr_{IAF}$ ) foi bastante exata ( $b=0,9997$ ) e precisa ( $r^2=0,9665$ ), indicando que os valores estimados estiveram dentro da ordem de grandeza para a cana-de-açúcar (Figura 3B). Os valores de Kcr dos dois ciclos variaram de 0,56 a 1,20, enquanto que os valores de  $Kcr_{IAF}$  variaram de 0,51 a 1,20, para o período compreendido entre o início da fase de crescimento e o final da fase intermediária.

Albuquerque et al., (1997) utilizou o modelo polinomial quadrático para estimar a ETc do feijoeiro em função do IAF mas encontrou resultados insatisfatórios. Pereira et al., (2011) usou regressão linear simples para estimar o Kc do café em função do IAF e obteve coeficiente de regressão de 0,93. Lena et al., (2011) usaram esse mesmo tipo de regressão para estudar a relação entre Kc e IAF em cafeeiros irrigados por aspersão e gotejamento, e observaram que, para maiores valores de IAF, o Kc foi superior quando a cultura

foi irrigada por aspersão. Ou seja, o modelo considerou as perdas por evaporação que ocorrem neste método. Isso mostra que o sistema de irrigação também interfere na relação entre essas variáveis.

Villa Nova et al., (1996) utilizaram a evaporação da água em tanque Classe A (ECA) e a incorporaram ao modelo matemático. Ao realizarem o uso da regressão linear múltipla criada, obtiveram coeficiente de determinação excelente para o modelo. Outros autores utilizaram regressão múltipla para relacionar a ETc com o IAF e a ECA nas culturas de batata (Pereira *et al.*, 1995), alface (Villa Nova *et al.*, 1996) e feijão (Villa Nova et al., 2003; Albuquerque *et al.*, 1997) e encontraram bons resultados.

## CONCLUSÕES

O uso de regressão polinomial quadrática como método de estimativa do Kc da cana-de-açúcar em função do IAF apresenta bom desempenho, mostrando-se como uma técnica de grande valor prático sem que haja a necessidade de sensores climáticos para ajustar o Kc.

Entretanto, o método proposto representa as condições climáticas locais e de desenvolvimento vegetativo da cultura. Assim, a metodologia em

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALBUQUERQUE, P. E.; KLAR, A. E.; GOMIDE, R. L. Estimativa da evapotranspiração máxima do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função do índice de área foliar e da evaporação do tanque Classe A. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.183-187, 1997.

ALLEN, R. A.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements**. Roma: FAO, 1998. 328p. (Irrigation and drainage paper, 56).

CARVALHO, O. M. **Classificação e caracterização físico-hídrica de solos de Rio-largo, cultivados com cana-de-açúcar**. 2003. 74p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2003.

CASTRO, P. R. C. Acúmulo de Sacarose no Colmo da Cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, v.21, n.2, p.32-33, 2002.

DOOREMBOS, J.; KASSAN, A. H. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO 1979. 193p. (Estudios FAO: Yield response to water, paper 33).

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; NETO, J. D. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.356-362, 2008.

HERMANN, E. R.; CAMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, v.17, n.5, p.32-35, 1999.

INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SPILLMAN, M. F.; HEWITT, M. L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, South Africa, v.59, p.13-26, 2008.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.92, p.185-202, 2005.

estudo é viável desde que o seu emprego seja para condições climáticas similares àquelas observadas no experimento.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v.50, n.3, p.885-900, 2007.

KEATING, B. A.; ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C.; HUTH, N. I. Modelling sugarcane production systems I. Development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.48, p.27-36, 1999.

LYRA, G. B.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; SANTOS, M. A. Balanço sequencial de água no solo para o manejo da irrigação de baixa frequência e alta intensidade na cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, Piracicaba, v.28, n.4, p.22-25, março/abril, 2010.

LYRA, G. B.; SEDIYAMA, G. C.; LYRA, G. B.; PEREIRA, A. R.; SOUZA, E. F. Evapotranspiração da Cultura de Cana de Açúcar na Região de Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas: Coeficiente da Cultura “Único” Padrão Boletim FAO-56. **Revista da STAB**, Piracicaba, v.25, n.4, p.40-43, março/abril, 2007a.

LYRA, G. B.; PEREIRA, A. R.; LYRA, G. B.; SEDIYAMA, G. C.; MAIA, S. M. F. Evapotranspiração da cultura de cana-de-açúcar na região de Tabuleiros Costeiros do estado de Alagoas: coeficiente da cultura “dual” padrão boletim FAO-56. **Revista da STAB**, Piracicaba, v. 25, n.5, p.44-51, maio/junho, 2007b.

LOAGUE, K.; GREEN, R. E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, v.7, p.51-73, 1991.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.12, p.1575-1582, dez. 2009.

LENA, B. P.; FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. **Evapotranspiração e coeficiente de cultivo de cafeeiros adultos**. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.8, p.905-911, 2011.



- OLIVEIRA, F. A.; SILVA, J. J. S.; CAMPOS, T. G. S. Evapotranspiração e desenvolvimento radicular do milho irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.12, p.1407-1415, 1993.
- PEREIRA, A. B.; VILLA NOVA, N. A.; TUON, R. L.; BARBIERI, V. Estimativa da evapotranspiração máxima da batata nas condições edafoclimáticas de Botucatu - SP, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, n.1, p.53-58, 1995.
- PEREIRA, A. R.; CAMARGO, M B. P.; VILLA NOVA, N. A. Coffee crop coefficient for precision irrigation based on leaf area index. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.4, p.946-951, 2011.
- RAO, C. M.; KUMAR, M. V.; REDDY, L. K. Management of sugarcane clones under limited moisture situations (drought) at formative stage. **Indian Sugar**, Indian, p.949- 953, 2005.
- RITCHIE, J. T.; BURNETT, E. Dry land evaporative flux in sub humid climate: II- plant influences. **Agronomy Journal**, Madison, v.63, p.56-62, 1971.
- ROBERTSON, M. J.; INMAN-BAMBER, N. G.; MUCHOW, R. C.; WOOD, A. W. Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit. **Field Crops Research**, Australia, v.64, p.211-227, 1999.
- SANTOS, M. A.; LYRA, G. B.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; SEDIYAMA, G. C. Coeficiente da Cultura no Estádio Inicial de Desenvolvimento para Cana-de-açúcar em Diferentes Datas de Plantio na Região de Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Revista da STAB**, Piracicaba, v.27, n.6, p.30-33, julho/agosto, 2009.
- SILVA, S.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; DANTAS NETO, J. Adaptação do método de Kc "dual" (FAO-56) para a cana-de-açúcar irrigada por gotejamento. **ABEAS**, Brasília-DF, v.27, n.2, p.87-93, 2012.
- SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, South Africa, v.98, p.91-97, 2006.
- SOUZA, J. L.; MOURA FILHO, G.; LYRA, R. F. F.; TEODORO, I.; SANTOS, E. A.; SILVA, J. L.; SILVA, P. R. T.; CARDIM, A. H.; AMORIM, E. C. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do Tabuleiro Costeiro de Maceió, AL, período 1972-2001. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.12, n.1, p.131-141, 2004.
- STONE, L. F.; PEREIRA, A. L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão - efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar no crescimento, desenvolvimento radicular e consumo d'água do arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.10, p.1577-1592, 1994.
- TEODORO, I.; SOUZA, J. L.; BARBOSA, G. V.; MOURA FILHO, G.; DANTAS NETO, J.; ABREU, M. L. Crescimento e produtividade da cana-de-açúcar em cultivo de sequeiro nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **Revista da STAB**, v.27, n.4, p.46-49, 2009.
- VILLA NOVA, N. A.; SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. B. Evapotranspiração máxima do feijoeiro, cv. goiano precoce, em função do índice de área foliar e da evaporação do tanque Classe A. Publ. UEPG Ci. **Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v.9, n.2, p.41-45, 2003.
- VILLA NOVA, N. A.; PEREIRA, A. R.; BARBIERI, V. Evapotranspiration as a function of leaf area index and class A pan evaporation. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.2, p.35-37, 1996.
- WILLMOT, C. J. On validation of models, **Physical Geography**, v.2, p.184-194, 1981