



Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro¹

Thieres G. F. da Silva², Magna S. B. de Moura³, Sérgio Zolnier⁴, José M. Soares³,
Vinícius J. de S. Vieira⁵ & Walter G. F. Júnior⁵

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar o requerimento hídrico e o coeficiente de cultura (Kc) da cana-de-açúcar irrigada durante o ciclo de soca, variedade RB 92-579, na região semiárida do Submédio do Vale do São Francisco. O experimento foi conduzido em área de cultivo comercial de cana-de-açúcar situada no município de Juazeiro, BA. Obteve-se o requerimento hídrico da cultura por meio do método do Balanço de Energia Razão de Bowen. Foram monitoradas também a biomassa acumulada e a fração da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela cultura (f_{REA}). Com os resultados constatou-se que a evapotranspiração da cana-de-açúcar atingiu uma taxa média diária de 4,7 mm, em resposta ao acúmulo de biomassa e, mas a f_{REA} apresentou, entretanto, influência do tombamento da cultura durante a fase de crescimento máximo. O requerimento hídrico total da cana-de-açúcar foi de 1710 mm, e o Kc atingiu o valor médio de 1,10 na fase de crescimento máximo. As equações de estimativa do Kc mensal, tendo graus dias acumulados e dias após o corte como variáveis independentes apresentaram ótimos ajustes ($R^2 \sim 0,95$ e $0,98$) e consideram a redução nos valores de Kc devida ao tombamento da cultura.

Palavras-chave: balanço de energia razão de Bowen, evapotranspiração, irrigação, tombamento da cultura

Water requirement and crop coefficient of irrigated sugarcane in a semi-arid region

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the water requirement and crop coefficient of the irrigated sugarcane, variety RB 92-579, in the semi-arid region of the lower middle of São Francisco Valley. The experiment was carried out in a commercial area of sugarcane located in the municipality of Juazeiro in the State of Bahia. The crop water requirement was estimated with the Bowen Ratio Energy Balance method. The accumulated biomass and the photosynthetic active radiation intercepted (f_{PAR}) by the crop were monitored. The sugarcane evapotranspiration reached a mean value of 4.7 mm d⁻¹ in response to f_{PAR} and accumulated biomass; however presented influence of the crop lodging during the maximum growth phase. The total water requirement of the sugarcane ratoon was 1710 mm. Crop coefficient reached a mean value of 1.10 in the phase of maximum growth. The equations adjusted for monthly crop coefficient, using the growing degree days and days after the harvest as independent variables presented good performance ($R^2 \sim 0.95$ and 0.98) and, consider the reduction in the Kc values because of crop lodging.

Key words: Bowen ratio energy balance, evapotranspiration, irrigation, crop loading

¹ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor

² UAST/UFV, Fazenda Saco, Zona Rural, s/n, CEP 56900-000, Serra Talhada, PE. E-mail: thieres@uast.ufrpe.br

³ Embrapa Semiárido, BR 428, Km 152, Zona Rural, C P 23, CEP 56310-000 Petrolina, PE. Fone: (87) 3862 1711. E-mail: magna@cptsa.embrapa.br; monteiro@cptsa.embrapa.br

⁴ DEA/UFV, Av. P. H. Hofls, s/n, CEP 36570-000, Viçosa, MG. E-mail: zolnier@ufv.br

⁵ Empresa Agroindústrias do Vale do São Francisco - Agrovale, BA 210, Km 12, Zona Rural, CEP 48900-000 Juazeiro, BA. Fone: (87) 3612-2900. E-mail: agrovale@agrovale.com.br

INTRODUÇÃO

O aumento do uso crescente de água e da demanda de alimentos nas áreas urbanas e industriais tem exigido o aprimoramento de técnicas nos sistemas de produção agrícola, de modo que permitam melhorar a segurança na produção dos cultivos e reduzir o volume de água aplicado. Concomitantemente, o momento de aplicação de água depende da fase de crescimento e das condições meteorológicas. Por outro lado, para a maximização da lucratividade dos sistemas de produção irrigados a quantidade de água a ser aplicada deve estar relacionada também ao requerimento hídrico e ao manejo da cultura.

Atualmente, a cana-de-açúcar desempenha papel de extrema importância para a economia do Brasil, hoje um dos maiores produtores mundiais, com 8,36 milhões de hectares de área cultivada e produção de 558 milhões de toneladas de colmo. Além disso, vem apresentando aumento ano após ano, em decorrência da entrada de novas unidades industriais e a seleção de variedades mais produtivas (Brasil, 2008). A cana-de-açúcar é uma cultura adaptada aos climas tropical e subtropical e produz relevante quantidade de biomassa (Tejera et al., 2007), sobremaneira quando adequadamente suprida por água, porém é uma cultura que demanda grande volume de água no seu sistema de produção (Wiedenfled, 2004).

Por este motivo, o conhecimento do requerimento hídrico da cana-de-açúcar se torna de suma importância, visto que pode ser utilizado no manejo de água em áreas irrigadas, visando aumentar sua eficiência através de melhorias do dimensionamento e do manejo dos sistemas de irrigação. Estimativas confiáveis do uso de água são indispensáveis para a sustentabilidade do sistema de produção, pois tendem a reduzir a lixiviação de nutrientes e a degradação dos solos (Inman-Bamber & McGlinchey, 2003; Inman-Bamber & Smith, 2005; Kjaersgaard et al., 2008).

O requerimento hídrico da cana-de-açúcar é influenciado por fatores inerentes às condições ambientais, técnicas agrícolas, período de plantio e cultivares, normalmente reduzindo com a sucessão dos ciclos de cultivo (cana-planta, cana-soca e ressoça). Em decorrência disto, o requerimento hídrico da cultura da cana-de-açúcar tende a apresentar grandes variações entre as regiões de produção (Pacheco et al., 1983; Doorenbos & Kassam, 1979; Inman-Bamber & Smith, 2005; Dantas Neto et al., 2006; Farias et al., 2008). Apesar do grande número de informações sobre a demanda de água da cana-de-açúcar em vários lugares do mundo pouco se conhece, ainda, sobre a lâmina d'água total exigida em condições irrigadas do semiárido brasileiro.

A demanda hídrica das plantas é governada pelos balanços de radiação e de energia à superfície da cultura, que permitem conhecer a partição da energia disponível em fluxo de calor sensível e latente (Asseng & Hsiao, 2000; Shen et al., 2004). Esta partição de energia é obtida por meio de métodos micrometeorológicos (Steduto et al., 1998; Todd et al., 2000; Gavilán & Berengena, 2007; Teixeira et al., 2008), que fornecem informações sobre a evapotranspiração da cultura (E_{Tc}) e, em seguida, através da relação E_{Tc}/E_{To} (sendo, E_{To} , a evapotranspiração de referência), permitem obter o coeficiente

de cultivo (K_c) a ser utilizado no manejo de irrigação (Miranda et al., 2006; Teixeira et al., 2007; Kjaersgaard et al., 2008). Dentre os métodos mais utilizados se destaca o balanço de energia com base na razão de Bowen (Silva et al., 2005; Attarod et al., 2009; Oliveira et al., 2009; Silva et al., 2011).

Objetivou-se com este trabalho determinar o requerimento hídrico e o coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada na região do semiárido brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em um talhão de 12,17 ha, situado em uma área comercial de cana-de-açúcar ($9^{\circ} 28' 07'' S$; $40^{\circ} 22' 43'' O$; 386,5 m), variedade RB 92-579, da Empresa Agroindústrias do Vale do São Francisco - AGROVALE, localizado no município de Juazeiro, Bahia, na região semiárida do Submédio do Vale do São Francisco.

O período de aquisição de dados compreendeu o ciclo de cana-soca, com início no dia 19/06/2007 (22 DAC, em que DAC = dias após o corte) e término no dia 10/06/2008, totalizando 357 dias de monitoramento micrometeorológico. O plantio foi conduzido em fileiras espaçadas 1,5 m, na direção leste-oeste, em um solo do tipo Vertissolo. A adubação foi realizada com base na análise de solo e a irrigação por sulco; utilizando-se um sistema de condução de tubos janelados, foi conduzida considerando-se os valores da evapotranspiração de referência (E_{To}) e os dados de umidade do solo obtidos por meio de uma sonda de monitoramento da umidade no perfil do solo (PR2/6, Delta-T Devices Ltd., Burwell, Cambridge, UK). O ciclo da cultura foi dividido em quatro fases fenológicas: Fase I – brotação e estabelecimento (0 – 30 DAC); Fase II – estabelecimento e perfilhamento (31 -109 DAC), Fase III – crescimento máximo (109 – 347 DAC) e Fase IV – maturação (348 – 389 DAC). Para essas fases foram determinados os requerimentos hídricos acumulados e os coeficientes de cultura médios (K_c).

Na determinação do requerimento hídrico da cultura instalou-se uma torre micrometeorológica, de oito metros de altura, no centro do talhão, equipada com um saldo radiômetro (NR-Lite Net radiometer, Campbell Scientific, Inc. Logan, Utah, USA), a uma altura de $2z_{om} + 1,5h$ (onde, z_{om} = parâmetro de rugosidade da superfície e h = altura do topo do dossel da cultura); dois psicrômetros ventilados com termopares do Tipo T de Cobre-Constantan, o primeiro localizado a uma altura de $2z_{om}$ do topo do dossel da cultura e o segundo a uma distância de 1,5 m do primeiro psicrômetro e três fluxímetros (HFT3-REBS, Campbell Scientific, Inc. Logan, Utah, USA) instalados a 2 cm de profundidade no solo, entre fileiras e na fileira de cultivo. Sempre que ocorria o crescimento da cultura, os sensores foram realocados para novas posições.

Utilizou-se um sistema de aquisição de dados (CR10X, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA) conectado a um multiplexador (AM16/32, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA), programado para realizar medidas a cada 60 s e armazenar médias em intervalos de 15 min. A partir dos dados coletados foram determinados os valores do fluxo de calor latente por meio do método do balanço de energia com base na razão de

Bowen (BERB) (Azevedo et al., 2003; Inman-Bamber & Mcglinchey, 2003; Teixeira et al., 2007).

Os valores do fluxo de calor latente (LE) foram estimados por meio do método BERB, utilizando-se a seguinte expressão:

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

em que:

Rn - saldo de radiação à superfície, W m⁻²

G - fluxo de calor no solo, W m⁻²

L - calor latente de vaporização, kJ kg⁻¹

β - razão de Bowen, adimensional

Os valores de β foram calculados a partir da equação seguinte:

$$\beta = \left(\frac{\Delta + \gamma (t_{bu1} - t_{bu2})}{\gamma (t_{bs1} - t_{bs2})} - 1 \right)^{-1} \quad (2)$$

em que:

Δ - declividade da curva de pressão de vapor d'água, kPa °C⁻¹

γ - constante psicrométrica, kPa °C⁻¹

t_{bu1} e t_{bu2} - temperaturas de bulbo úmido em dois níveis de medida acima do dossel da cultura (°C), respectivamente e t_{bs1}

t_{bs2} - temperatura de bulbo seco em dois níveis de medida acima do dossel da cultura (°C), respectivamente

Para analisar os erros associados ao método BERB na estimativa dos valores de \hat{e} , em seguida, para o cálculo do fluxo de calor latente (LE), utilizaram-se os critérios definidos por Perez et al. (1999), que avaliam a consistência física dos dados com base nas medições do perfil de pressão de vapor em cada horário, na resolução dos sensores de temperatura e pressão de vapor e numa conversão de sinais consistente com a relação fluxo-gradiente.

Para a estimativa dos valores da evapotranspiração da cultura (ETc) foram integrados, inicialmente, os valores de LE a cada 15 minutos, caracterizados como consistentes, de acordo com a metodologia proposta por Perez et al. (1999). Calcularam-se, por meio dos valores de ETc15, os valores diários de ETc, considerando-se os valores durante o período em que a energia disponível (Rn - G) foi positiva. O requerimento hídrico da cultura da cana-de-açúcar foi determinado integrando-se os valores de ETc para todo o período de monitoramento (357 dias) e, em seguida, extrapolado para todos os dias do seu ciclo (389 dias), incluindo dias não considerados "válidos" e que não foram monitorados. Realizou-se este procedimento a partir das equações de coeficiente de cultura ajustadas em função das variáveis independentes, dias após o corte e graus dias acumulados. Para estimar a evapotranspiração de referência (ETo, mm dia⁻¹) foram utilizados os dados de uma estação meteorológica automática (modelo Davis Vantage Pro2, Hayward, CA, USA) instalada em uma área gramada de 20 x

20 m, pertencente à Empresa Agrovale e situada a 3 km de distância da área experimental. Utilizou-se o método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO para o cálculo da ETo (Allen et al., 1998). Calcularam-se os coeficientes de cultura considerando-se a relação entre a ETc e a ETo.

Para a estimativa dos valores da fração da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (f_{RFA}) foram instalados quatro sensores quânticos lineares (LI-191SA, LI-191SA Line Quantum Sensor Li-cor, Nebraska, USA), um localizado no topo da torre micrometeorológica (RFAL_s) e os outros em três diferentes posições abaixo do dossel da cultura, dos quais dois entre fileiras e um na fileira de cultivo.

Obteve-se a biomassa seca da cana-de-açúcar em intervalos entre duas e quatro semanas, a partir dos 60 dias após o início da brotação, o que totalizou 10 amostragens ao longo do ciclo. Para determinação da biomassa seca utilizou-se uma metodologia proposta por Muchow et al. (1993), que tem sido bastante aplicada em estudos para esta cultura. Nas amostragens de plantas foram coletados, a nível do solo, de 4 a 5 m lineares em três subáreas, totalizando 18 a 24 m² de material analisado; deste volume total foram amostrados 15 colmos representativos em cada subárea, os quais foram triturados em uma forrageira e, em seguida, subamostrados e pesados em uma balança de precisão de 0,001 g (Modelo MARK 210A, Bel Engineering, Monza-MI, Itália). As subamostras foram secadas em estufa com ventilação forçada e temperatura entre 65-70 °C. Obteve-se a biomassa seca total por meio da extrapolação dos dados das subamostras, após atingirem peso constante.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios diários das variáveis meteorológicas (temperatura do ar, T_{ar}; umidade relativa do ar, UR_{ar}, radiação solar global, Rg, déficit de pressão de vapor, DPV e velocidade do vento, u), precipitação, evapotranspiração de referência média diária (ETo), irrigação (I) e do conteúdo de água no solo (CAS), ao longo do ciclo da cultura, são demonstrados nas Figuras 1 e 2. A Fase I do ciclo da cultura (brotação e estabelecimento) (junho/2007, até 30 DAC) ocorreu no período em que os valores de T_{ar}, Rg e DPV ainda eram reduzidos (Figura 1A, 1B e 1C) e a "u" era ascendente (Figura 1D), com baixa pluviosidade e demanda atmosférica (Figura 2A e 2B). No período subsequente (Fase II), quando ocorreram o estabelecimento e o perfilhamento da cultura (julho a setembro/2007, entre 31 a 109 DAC), houve uma pequena elevação do DPV, como resultado do aumento dos valores da T_{ar} e redução UR_{ar}. A Rg mostrou-se ligeiramente superior à do período anterior e os valores de "u" foram os mais elevados do ciclo resultando, portanto, em aumento da ETo. Durante a primeira metade da fase de crescimento máximo da cultura (Fase III) (outubro/2007 a maio/2008, entre 110 a 348 DAC), com a elevação da temperatura do ar e redução da umidade relativa, tal como com a maior incidência de Rg, o DPV foi o maior durante o ciclo, resultando em uma demanda atmosférica elevada (ETo).

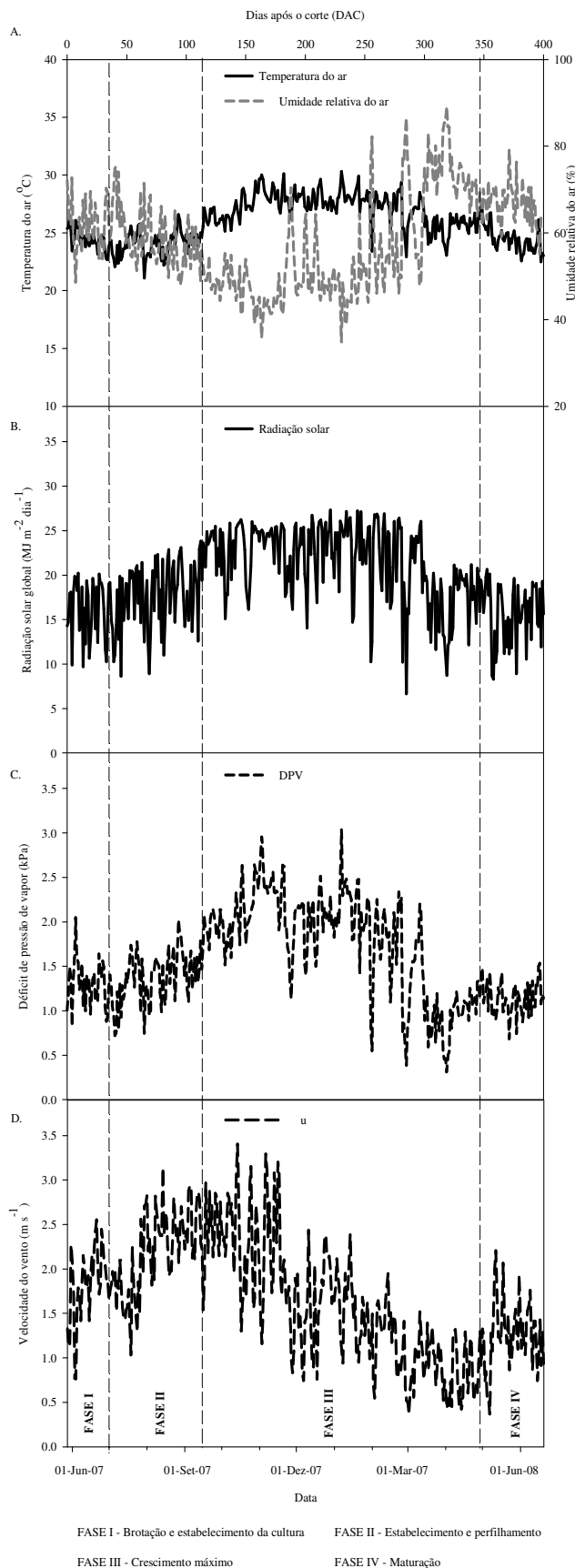


Figura 1. Valores médios diários das variáveis meteorológicas ao longo do período de cultivo da cana-de-açúcar irrigada no ciclo de cana-soca, sob as condições do Submédio do Vale do São Francisco

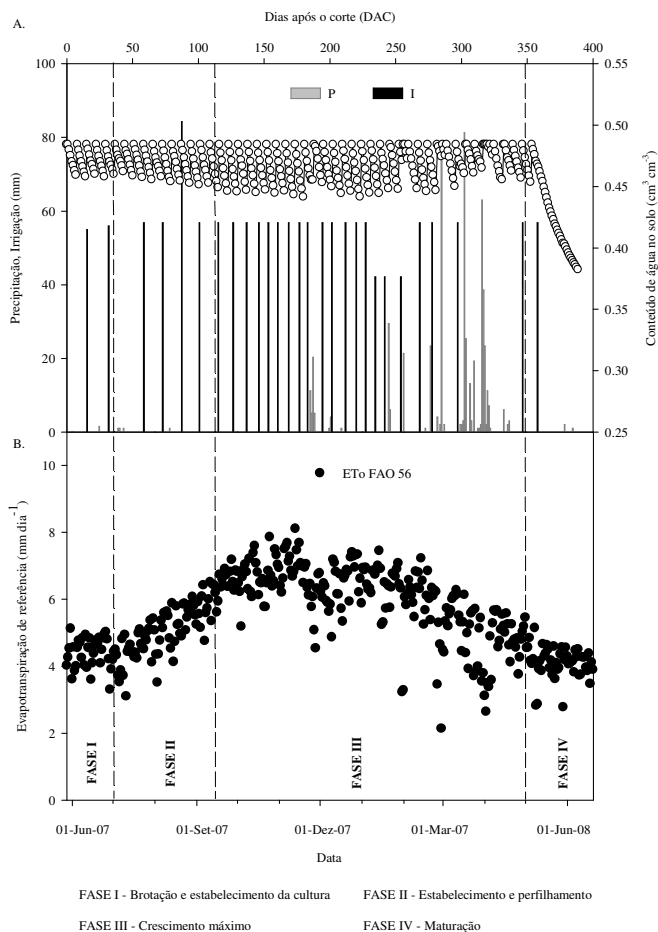


Figura 2. Valores de precipitação, irrigação e conteúdo de água no solo (A) e de evapotranspiração de referência (B), ao longo do período de cultivo da cana-de-açúcar irrigada

Por sua vez, na segunda metade da Fase III a T_{ar} , R_g e “ u ” apresentaram redução expressiva que, combinada com o aumento da UR_{ar} , promoveu diminuição da DPV e, conseqüentemente, da ET_0 , tendência que se estendeu até a Fase IV (maio a junho/2008, entre 349 a 389 DAC) e se caracterizou pelo período de maturação dos colmos. O total de precipitação pluviométrica ocorrida ao longo do ciclo da cultura foi de 523 mm (Figura 2A). Observou-se que no início do ciclo da cana-de-açúcar, quando a demanda de água é reduzida, o intervalo de irrigação foi maior (em média, a cada duas semanas). Um aumento na frequência da irrigação foi evidenciado a partir de outubro/2007 (Figura 2A), quando os valores de ET_0 alcançaram valores máximos (Figura 2B). Constatou-se que, entre os meses de março e abril/2008, o número de irrigações foi reduzido devido à ocorrência dos eventos de precipitação pluviométrica, a qual respondeu por 48% do volume total de chuva durante o experimento. Apesar disto, os valores do conteúdo de água no solo se mantiveram elevados (Figura 2A). A partir do dia 10/05/2008 (DAC 348), os eventos de chuva foram reduzidos e as irrigações suspensas, para favorecer a maturação da cultura e propiciar a colheita mecanizada, já que os vertissolos são solos argilosos. Como consequência, observou-se redução no CAS (Figura 2A).

Apresentam-se, na Figura 3A, os valores de biomassa seca total da parte aérea (BSTPA) e na Figura 3B é demonstrada a fração da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (f_{RFA}). A Fase I foi caracterizada por uma baixa interceptação de radiação ($f_{RFA} \sim 6\%$), apresentando também um acúmulo reduzido de biomassa. Na Fase II (DAC 31 – 109), os valores de f_{RFA} variaram de 6 para 59% em decorrência do incremento de área foliar, logo que a maior partição de biomassa foi destinada às folhas. Durante a Fase III evidenciou-se a cobertura total do solo ($f_{RFA} > 80\%$) e o incremento de biomassa seca acumulada foi expressivo; ao final da Fase III a biomassa seca da cultura foi de 65,35 ton ha⁻¹ e a f_{RFA} igual a 99%; já na Fase IV, com duração de 41 dias (DAC 348 – 389), o incremento de biomassa foi bastante reduzido haja vista que a suspensão da irrigação induziu as plantas a priorizarem a conversão de açúcares primários para sacarose enquanto ao final da Fase IV a biomassa seca acumulada pela cultura variou pouco, da qual em torno de 76% correspondiam à biomassa seca de colmos; nesta fase, apesar da redução do índice de área foliar, os valores de f_{RFA} foram próximos a 99%.

A evapotranspiração da cultura da cana-de-açúcar (ETc) e a evapotranspiração de referência (ETo) ao longo do ciclo são apresentadas na Figura 4A. Constatou-se que os valores de

ETc correspondentes à Fase I (brotação e estabelecimento da cultura) oscilaram em torno de 3,0 mm dia⁻¹; na Fase II (estabelecimento e perfilhamento), o valor médio da ETc aumentou para 3,8 mm dia⁻¹, especialmente em decorrência do incremento da radiação interceptada pela cana-de-açúcar (Figura 3B); na Fase III, caracterizada pelo período de crescimento máximo, os valores da evapotranspiração atingiram, em média, 5,1 mm dia⁻¹, destacando-se como o mais elevado do ciclo produtivo da cana-de-açúcar; entretanto, entre os 200 e 300 DAC, a ETc apresentou diminuição acentuada em razão do tombamento da cultura, o que afetou o processo de evapotranspiração como resultado de uma redução do seu índice de área foliar. Este fenômeno ocorre em virtude de vários fatores, como altura dos colmos, hábito de crescimento, alta produtividade e, ainda, por causa de variáveis ambientais, tais como vento e teor de umidade no solo (Carlin et al., 2008). Concomitantemente se obtiveram, neste período, as taxas mais elevadas de alongação média dos colmos, quando então o valor da BSTPA já era elevado (Figura 3A); no período subsequente, entre os 300 e 348 DAC, a ETc volta a aumentar, em virtude do aumento do IAF; na Fase IV (maturação da cultura), em que

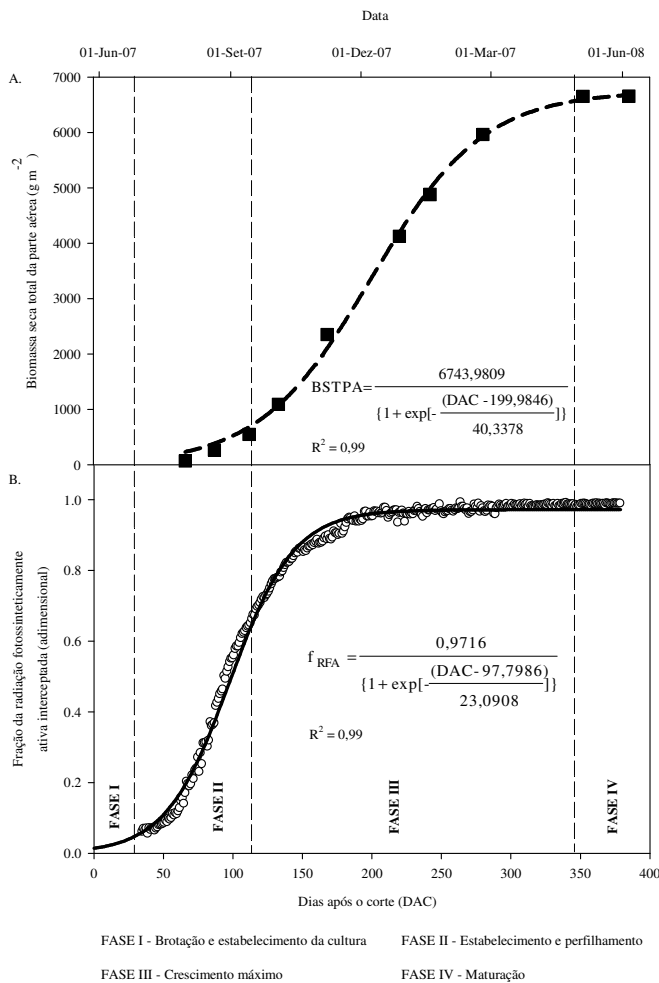


Figura 3. Biomassa seca total da parte aérea (A) e fração da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (B) ao longo do ciclo pela cana-de-açúcar, cana-soca

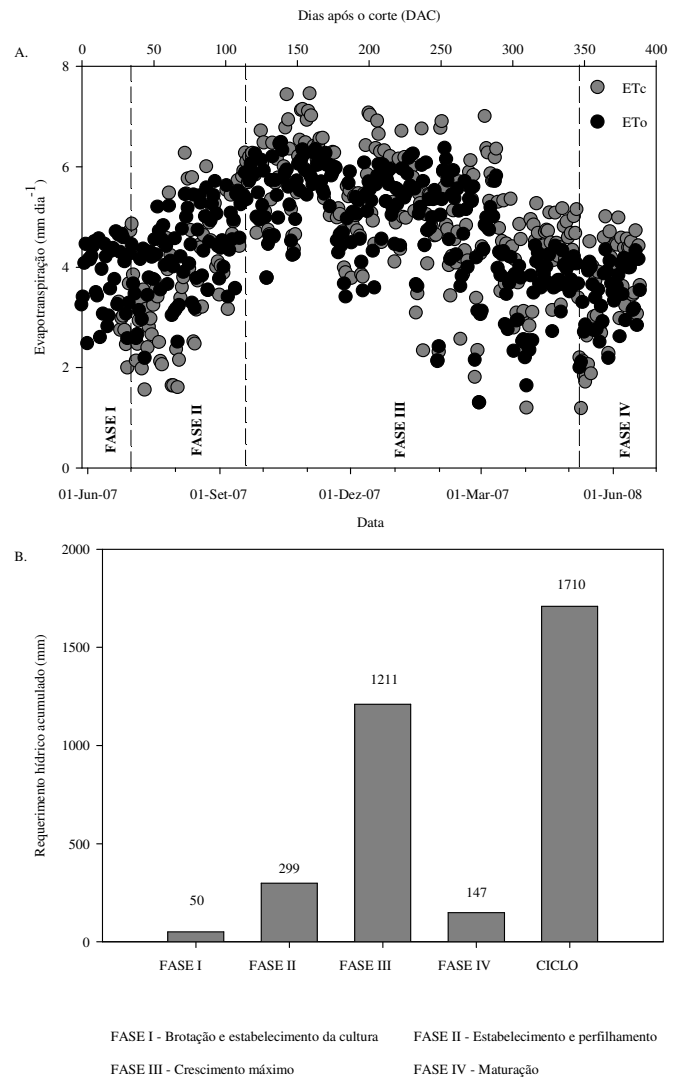


Figura 4. Evapotranspiração diária (A) e requerimento hídrico da cana-de-açúcar, cana-soca (B)

ocorreu a suspensão da irrigação para promover o acúmulo de sacarose nos colmos e, em consequência, a redução do IAF, os valores da ETc tenderam a decrescer, alcançando 3,1 mm dia⁻¹.

De modo geral, ao longo do ciclo da cana-de-açúcar a ETc oscilou entre um mínimo de 1,2 mm dia⁻¹ e um máximo de 7,5 mm dia⁻¹, com média de 4,7 mm dia⁻¹. Esses valores são bastante próximos aos revisados por Santos (2005), que encontrou valores mínimos, médios e máximos de ETc variando de 0,52 a 4,10, 2,33 a 5,70 e de 3,70 a 8,60 mm dia⁻¹, respectivamente em diferentes regiões do mundo, a depender da variedade, do local de cultivo e do sistema de produção. Souza et al. (1999) obtiveram, avaliando a influência da irrigação na produção de cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes, RJ, valores médios de ETc de 1,9 mm dia⁻¹ na Fase I (agosto) e entre 3,2 a 4,0 mm dia⁻¹ na Fase II (setembro a outubro). Durante a Fase III (crescimento máximo - novembro a maio), os valores de ETc variaram entre 3,2 e 6,3 mm dia⁻¹, sendo que na maturação (junho a agosto) foram constatados valores entre 1,8 e 2,1 mm dia⁻¹. A partir de medições realizadas em lisímetros Thompson & Boyce (1967) obtiveram valores máximos de ETc igual a 6,8 mm dia⁻¹ para a cana-de-açúcar, sob as condições climáticas de Pongola, na África do Sul. Inman-Bamber & Smith (2005) citam estudo através do qual, utilizando sondas de nêutrons para o monitoramento de água no solo, constataram a ETc da cana-de-açúcar irrigada, atingindo valor igual a 7,8 mm dia⁻¹.

O requerimento hídrico para cada uma das fases de desenvolvimento e para todo o ciclo da cana-de-açúcar pode ser observado na Figura 4B; na Fase I, quando a cultura apresentou área foliar reduzida, a demanda hídrica foi de 50 mm enquanto na Fase II este requerimento foi igual a 299 mm; na Fase III a cultura apresentou um requerimento de 1211 mm enquanto na IV, em que ocorreu a suspensão da irrigação, a evapotranspiração acumulada foi de 147 mm, totalizando 1710 mm durante todo o ciclo de produção, ligeiramente inferior ao valor acumulado da evapotranspiração de referência, que foi de 1743 mm.

Almeida et al. (2008) encontraram, trabalhando com a mesma variedade (RB 92579), no ciclo de cana-soca sob as condições irrigadas da região de Rio Largo, AL, evapotranspiração acumulada de 1584 mm. Doorenbos & Kassam (1979) citam valores do requerimento hídrico da cana-de-açúcar situados entre 1500 e 2500 mm. Pacheco et al. (1983) mencionam que o requerimento hídrico da cultura da cana-de-açúcar possui grandes variações entre as regiões de produção, tendo oscilado entre 1600 e 1800 mm na Província de Matanzas, em Cuba; de 1420 a 1650 mm, em Porto Rico e de 1936 mm, na Argentina.

A partir da relação entre os valores de ETc e de ETo, calcularam-se os valores diários do coeficiente de cultura (Kc) ao longo do ciclo. Na Figura 5 são demonstrados os valores diários e as médias mensais. Constatou-se, para a Fase I, que os valores variaram entre 0,64 e 0,71, com média de 0,65. Como se observa nesta figura, as medições tiveram início próximo do período de transição entre as Fases I e II, logo que a instalação da torre micrometeorológica e dos sensores só foi finalizada aos 22 DAC. Verificou-se que o valor médio do Kc (0,65) foi superior ao sugerido no boletim 56 da FAO (Kc ~ 0,40) e por Inman-Bamber & Mcglinchey (2003) (Kc ~ 0,40), porém

semelhante ao informado por Doorenbos & Pruitt (1975; 1977) e Doorenbos & Kassam (1979) (Kc entre 0,40 e 0,60), Omary et al. (1995) (Kc igual a 0,47) e por Souza et al. (1999) (Kc igual a 0,60).

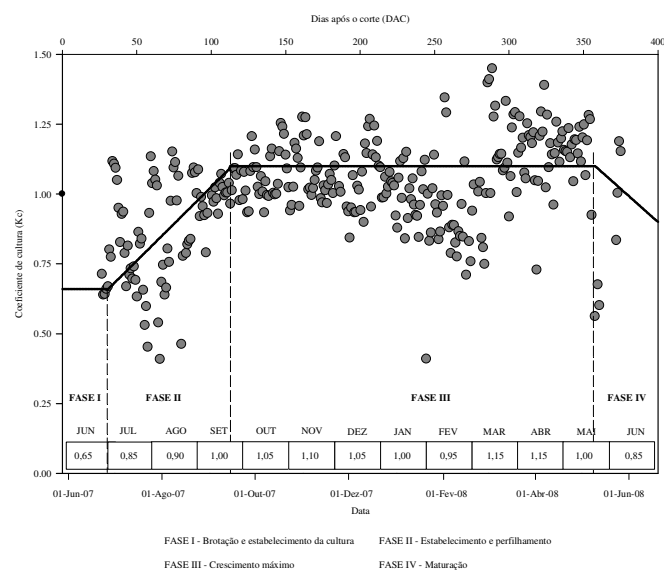


Figura 5. Coeficiente de cultura diário da cana-de-açúcar durante o ciclo de soca

Na Fase II o valor de Kc aumentou para o intervalo de 0,85 a 1,0 (Figura 5), como resposta ao rápido incremento da área foliar (Figuras 25 e 26); similarmente, Souza et al. (1999) observaram valores variando entre 0,85 e 1,02.

Na Fase III o valor médio de Kc foi aproximadamente igual a 1,10, valor inferior ao informado no boletim da FAO 56 (Allen et al., 1998) e citado por Inman-Bamber & Mcglinchey (2003), sendo igual a 1,25; entretanto, o mesmo foi similar aos determinados por vários outros autores para a cana-soca (Doorenbos & Pruitt, 1977; Doorenbos & Kassam, 1979; Omary et al., 1995; Watanabe et al., 2004). Souza et al. (1999) encontraram, em experimento com duração de 13 meses (cana-soca), para a fase de crescimento máximo (novembro a maio), valores de Kc compreendidos entre 1,10 e 1,15, em Campos dos Goytacazes, RJ. Omary & Izuno (1995) obtiveram, no período de máximo crescimento, um Kc médio igual a 1,09 para a cana-de-açúcar com 12 meses de idade. Wiedenfeld (2004) reportou valor de Kc da cana-de-açúcar na fase de máximo crescimento (maio a outubro), entre 0,9 e 1,0.

Semelhante ao que foi discutido para a ETc, também se observou redução seguida de um novo aumento dos valores de Kc, no período compreendido entre 200 e 300 DAC (Figura 5), como resultado do tombamento da cana-de-açúcar; comportamento similar foi constatado por Inman-Bamber & Mcglinchey (2003), ao observarem redução dos valores de Kc, próximo aos 200 DAC.

Na Fase IV verificou-se que os valores de Kc reduziram ao final do ciclo, para 0,85 (Figura 5), valor este superior ao informado no Boletim 56 da FAO (Kc = 0,70), resultado que pode estar associado ao fato do monitoramento micrometeorológico ter sido finalizado 20 dias antes da colheita da cana; outra causa provável é que o valor de 0,70 citado no

boletim 56 da FAO, pode ter sido oriundo de dados médios de experimentos realizados sob condições de menor disponibilidade de água no solo, durante esta fase de crescimento da cultura (Inman-Bamber & McGlinchey, 2003), quando comparado com o presente experimento. Souza et al. (1999) obtiveram valores de Kc para esta fase (junho a agosto), reduzindo-os de 0,85 para 0,60. Ao final do ciclo (novembro a dezembro), Omary et al. (1995) determinaram um valor médio de Kc igual a 0,93.

Na Figura 6 estão demonstradas as equações empíricas ajustadas para Kc da cana-de-açúcar, no ciclo de cana-soca. Este tipo de informação é de grande importância visto que permite calcular o valor de Kc para qualquer idade da cana, visando à otimização do manejo da irrigação desta cultura, de maneira simples e prática (Hanson & May, 2006; Sammis et al., 2004). Para o ajuste das equações foram considerados todos os dados médios mensais do Kc ao longo do ciclo da cultura, visando suavizar as variações diárias e possibilitar a obtenção de equações com melhor ajuste, pelo fato de que, na prática, os produtores agrícolas utilizam dados médios durante períodos mais longos de tempo.

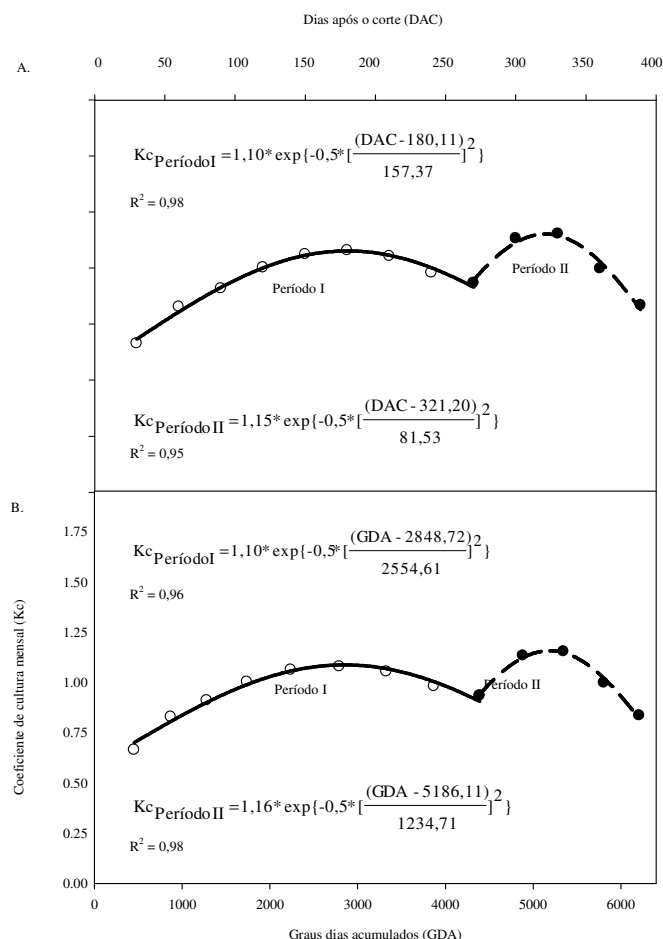


Figura 6. Ajuste do coeficiente de cultura (Kc) mensal para a cana-de-açúcar, utilizando-se como variáveis independentes dias após corte - DAC (A) e graus dias acumulados - GDA (B), e assumindo os dois períodos, antes (Período I) e depois (Período II) do tombamento da cultura

Consideraram-se os períodos antes (período I) e depois (período II) do tombamento da cultura, para ajustar as equações de estimativa do Kc mensal, que apresentou o formato de uma dupla sigmóide. Adicionalmente foram utilizados, como variáveis independentes, os valores dos dias após corte (DAC) (Figura 6A) e dos graus dias acumulados (GDA) (Figura 6B). A equação sigmoidal Gaussiana com três parâmetros foi a que apresentou os maiores valores dos coeficientes de determinação e os parâmetros das equações estatisticamente significativos ($P < 0,01$). Verificou-se, também, que os coeficientes de determinação das equações, utilizando-se os DAC e os GDA, se mostraram bastante semelhantes, variando entre 0,95 e 0,98 (Figura 6A e 6B).

CONCLUSÕES

1. A evapotranspiração média da cana-de-açúcar foi de 4,7 mm dia⁻¹, entretanto com ligeira redução na fase de crescimento máximo em decorrência do tombamento da cultura totalizando, ao final do ciclo, 1710 mm.
2. O coeficiente de cultura da cana-de-açúcar durante o ciclo de soca variou de 0,65 a 1,10 entre as fases de brotação e estabelecimento e crescimento máximo, reduzindo para 0,85 na fase de maturação da cultura.
3. As equações de estimativa do coeficiente de cultura mensal apresentaram ótimos ajustes quando da utilização dos graus dias acumulados e dos dias após o corte como variáveis independentes.

LITERATURA CITADA

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 326p. FAO Irrigation and Drainage Paper 56
- Almeida, A. C. dos S.; Souza, J. L.; Teodoro, I.; Barbosa, G. V. S.; Moura Filho, G.; Ferreira Júnior, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.32, p.1441-1448, 2008.
- Asseng, S., Hsiao, T. C. Canopy CO₂ assimilation, energy balance, and water use efficiency of an alfalfa crop before and after cutting. *Field Crops Research*, v.67, p.191-206, 2000.
- Attarod, P.; Aoki, M.; Bayramzadeh, V. Measurements of the actual evapotranspiration and crop coefficients of summer and winter seasons crops in Japan. *Plant Soil Environmental*, v.55, p.121-127, 2009.
- Azevedo, P. V. de; Silva, B. B. da; Silva, V. R. R. da. Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil. *Agricultural Water Management*, v.58, p.241-254, 2003.
- Brasil. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço energético nacional: Ano base 2008: Ano base 2007. Rio de Janeiro: EPE, 2008. 244p.
- Carlin, S. D.; Silva, M. de A.; Rossetto, R. Parâmetros biométricos e produtividade da cana-de-açúcar após tombamento dos colmos. *Bragantia*, v.67, p.845-853, 2008.

- Dantas Neto, J.; Figueredo, J. L. da C.; Farias, C. H. de A.; Azevedo, H. M. de; Azevedo, C. A. V. de. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.283-288, 2006.
- Doorenbos, J.; Pruitt, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO, 1977. 179p. FAO. Irrigation and Drainage, Paper, 24
- Farias, C. H. A.; Fernandes, P. D.; Dantas Neto, J.; Gheyi, H. R. Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no litoral paraibano. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.494-506, 2008.
- Gavilán, P.; Berengena, J. Accuracy of the Bowen ratio-energy balance method for measuring latent heat flux in a semiarid advective environment. *Irrigation Science*, v.25, p.127-140, 2007.
- Hanson, B. R.; May, D. M. Crop coefficients for drip-irrigated processing tomato. *Agricultural Water Management*, v.81, p.381-399, 2006.
- Inman-Bamber, N. G.; Mcglinchey, M. G. Crop coefficients and water-use estimates for sugarcane based on long-term Bowen ratio energy balance measurements. *Field Crops Research*, v.83, p.125-138, 2003.
- Inman-Bamber, N. G.; Smith, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits, *Field Crops Research*, v.92, p.185-202, 2005.
- Kjaersgaard, J. H., Plauborg, F., Mollerup, M.; Petersen, C. T., Hansen, S. Crop coefficients for winter wheat in a sub-humid climate regime. *Agricultural Water Management*, v.95, p.918-924, 2008.
- Miranda, F. R.; Gondim, R. S.; Costa, C. A. G. Evapotranspiration and crop coefficients for tabasco pepper (*Capsicum frutescens* L.). *Agricultural Water Management*, v.82, p.237-246, 2006.
- Muchow, R. C.; Wood, A. W.; Spillman, M. F.; Robertson, M. J.; Thomas, M. R. Field techniques to quantify the yield determining processes in sugarcane. I. Methodology. In: Conference of Australian Society of Sugar Cane Technologist, 15, 1993, Cairns. Proceedings... Brisbane: CSIRO, 1993. p.336-343.
- Oliveira, I. A. de; Lima, J. R. de S.; Silva, Ivandro de F. da; Antonino, A. C. D.; Gouveia Neto, G. da C.; Lira, Carlos A. B. de O. Balanço de energia em mamona cultivada em condições de sequeiro no brejo paraibano. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.4, p.185-191, 2009.
- Omary, M.; Forrest, T.; Izuno, F. T. Evaluation of sugarcane evapotranspiration from water table data in the everglades agricultural area. *Agricultural Water Management*, v.27, p.309-319, 1995.
- Pacheco, P.; Alonso, N.; Guitiérrez, A. A study of the sugar cane evapotranspiration in Cuba. In: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 18, 1983, Ciudad de La Habana. Proceedings... Ciudad de La Habana: Society of Sugar Cane Technologists, 1983. p.380-387.
- Perez, P. J.; Castellvi, F.; Ibañez, M.; Rosell, J. I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.97, p.141-150, 1999.
- Sammis, T. W.; Mexal, J. G.; Miller, D. Evapotranspiration of flood-irrigated pecans. *Agricultural Water Management*, v.69, p.179-190, 2004.
- Santos, M. A. L. dos. Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.): Um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas. Piracicaba: ESALQ/USP 2005. 101p. Tese Doutorado
- Shen, Y.; Zhang, Y.; Kondoh, A.; Tang, C.; Chen, J.; Xias, J.; Sakllra, Y.; Liu, C.; Sun, H. Seasonal variation of energy partitioning in irrigated lands. *Hydrological Processes*, v.18, p.2223-2234, 2004.
- Silva, L. D. B. da; Folegatti, M. V.; Villa Nova, N. A. Evapotranspiração do capim Tanzânia obtida pelo método de razão de Bowen e lisímetro de pesagem. *Engenharia Agrícola*, v.25, p.705-712, 2005.
- Silva, T. G. F. da; Moura, M. S. B. de; Zolnier, S.; Soares, J. M.; Souza, L. S. B. de; Brandão, E. O. Variação do balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.139-147, 2011.
- Souza, E. F.; Bernardo, S.; Carvalho, J. A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três cultivares, em Campos dos Goytacazes, RJ. *Engenharia Agrícola*, v.19, p.28-42, 1999.
- Steduto, P.; Hsiao, T. C. Maize canopies under two soil water regimes. I. Diurnal patterns of energy balance, carbon dioxide flux, and canopy conductance. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.89, p.169-184, 1998.
- Teixeira, A. H. de C.; Bastiaanssen, W. G. M.; Bassoi, L. H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the Sao Francisco river basin, Brazil. *Agricultural Water Management*, v.94, p.31-42, 2007.
- Teixeira, A. H. de C.; Bastiaanssen, W. G. M.; Moura, M. S. B. Soares, J. M.; Ahmad, M. D.; Bos, M. G. Energy and water balance measurements for water productivity analysis in irrigated mango trees, Northeast Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.148, p.1524-1537, 2008.
- Tejera, N. A.; Rodés, R.; Ortega, E.; Campos, R.; Lluch, C. Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivars. *Field Crops Research*, v.102, p.64-72, 2007.
- Thompson, G. D.; Boyce, J. P. Daily measurements of potential evapotranspiration from fully canopied sugarcane. *Agricultural Meteorology*, v.4, p.267-279, 1967.
- Todd, R. W.; Evett, S. R.; Howell, T. A. The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.103, p.335-348, 2000.
- Watanabe, K.; Yamamoto, T.; Yamada, T.; Sakuratani, T. Nawata, E.; Noichana, C.; Sributta, A.; Higuchi, H. Changes in seasonal evapotranspiration, soil water content, and crop coefficients in sugarcane, cassava, and maize fields in Northeast Thailand. *Agricultural Water Management*, v.67, p.133-143, 2004.
- Wiedenfeld, B. Scheduling water application on drip irrigated sugarcane. *Agricultural Water Management*, v.64, p.169-181, 2004.