

ÉPOCA DE INTERRUÇÃO DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

GUSTAVO HADDAD SOUZA VIEIRA¹; EVERARDO CHARTUNI MANTOVANI²; GILBERTO CHOHAKU SEDIYAMA³; PAULO ROBERTO CECON⁴ E FÁBIO TEIXEIRA DELAZARI⁵

¹IFES *campus* Santa Teresa-ES, ghsvieira@gmail.com; ²Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Viçosa-MG, everardo@ufv.br; ³ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Viçosa-MG, g.sediyama@ufv.br; ⁴ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Estatística, Viçosa-MG, cecon@ufv.br; ⁵Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Viçosa-MG, fabiodelazari@yahoo.com.br

1 RESUMO

O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de se avaliar indicadores de desenvolvimento, maturação e produção da cana-de-açúcar em função da época de interrupção da irrigação e seu efeito no estado hídrico e no IAF da cultura, visando economia de água e de energia elétrica na etapa final do ciclo de cultivo. O experimento foi instalado em agosto de 2010 no município de Jaíba/MG, em uma área irrigada por pivô central, com cana-de-açúcar no terceiro ciclo, em estágio de maturação. O manejo da irrigação com base no balanço hídrico climatológico foi realizado até a época determinada para a sua interrupção, de acordo com cada tratamento, aos 51, 37, 22 e 7 dias antes da colheita, respectivamente, para os Tratamentos T1, T2, T3 e T4. Foram determinados o potencial hídrico de antemã nas folhas, o Brix e o índice de maturação, o IAF, a produtividade de colmos e o teor de sacarose do caldo. Com os dados de produtividade e do preço da cana, calcularam-se os ganhos (R\$ ha⁻¹) que se obtém por continuar irrigando a cultura até próximo à colheita. Os valores obtidos foram submetidos a análises de variância e, posteriormente, elaboradas regressões lineares e polinomiais quadráticas, conforme a variável, com uso do aplicativo SAEG 9.1. Diante dos resultados obtidos, nas condições em que foi realizado o experimento, foi possível concluir que: ocorreu antecipação da senescência foliar da cana-de-açúcar quando a irrigação foi interrompida no início da fase de maturação; a interrupção da irrigação da cana-de-açúcar até 51 dias antes da colheita promoveu decréscimo na produtividade de até 26 t ha⁻¹; não houve acréscimo de rendimento industrial (ATR) com a manutenção da irrigação até próximo à colheita; diferentemente do que se observa na literatura, não se recomenda, na situação analisada, interromper a irrigação para a cultura da cana-de-açúcar, antes de sete dias da colheita, com a finalidade de aumentar o teor de sacarose nos colmos.

Palavras-chave: Irrigação, cana-de-açúcar, interrupção, produtividade, déficit hídrico.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R.; DELAZARI, F. T.

TIME OF IRRIGATION INTERRUPTION FOR SUGAR CANE

2 ABSTRACT

This work evaluated development, maturation and production of sugar cane as a function of time of irrigation interruption and its effect on water status and the SLA of the crop in order to save water and electricity. The experiment was carried out in August 2010 in Jaíba/MG, Brazil in an area irrigated by a center-pivot system containing sugar cane in the third cropping cycle and at the maturation stage. Irrigation was managed until the time of its interruption, which was determined according to each treatment at 51, 37, 22 and 7 days before harvest for T1, T2, T3 and T4, respectively. Water potential in the leaves, Brix and maturation index, leaf area index, sugar cane yield and sucrose content were the factors determined. Estimated earnings (R\$ ha⁻¹) based on data productivity and price of sugar cane were calculated considering irrigation of the crop until harvest. Analysis of variance and subsequently linear and quadratic polynomial regressions according to the variable were developed using data obtained and the SAEG 9.1 software. In the experimental conditions of this study, the conclusions were as follows: earlier leaf senescence was observed in sugar cane when irrigation was discontinued in the early stage of maturation; interruption of sugar cane irrigation at 51 days before harvest led to a decrease in productivity of up to 26 t ha⁻¹; no increase in industrial yield was observed by maintaining irrigation until few days before harvest; unlike data of the literature, it is not recommended, under the study conditions, to interrupt sugar cane irrigation less than seven days before harvest in order to increase sucrose content in the stalks.

KEYWORDS: Irrigation, sugar cane, interruption, productivity, drought.

3 INTRODUÇÃO

O conhecimento das relações hídricas é fundamental para melhorar o manejo da cultura da cana-de-açúcar nas regiões tropicais, sobretudo em razão do elevado déficit hídrico existente em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Assim, o uso eficiente da água na irrigação é uma das maneiras mais eficazes de melhorar o manejo da cultura, garantindo que o estresse hídrico seja minimizado durante as fases críticas de desenvolvimento. No entanto, a ocorrência de estresse hídrico durante a fase de maturação pode maximizar a produção de sacarose (Inman-Bamber & Smith, 2005).

Chaves et al. (2008) citam que a deficiência hídrica afeta vários aspectos do metabolismo vegetal, em especial a fotossíntese. A fotossíntese das plantas é limitada pela restrição da abertura estomática em condição de déficit hídrico, que é a primeira linha de defesa, sendo ativada mesmo antes que ocorram reduções no conteúdo de água foliar (Yordanov et al., 2003). Esta redução na abertura estomática ocorre para tentar reduzir a perda de água para a atmosfera (transpiração) e assim evitar a desidratação excessiva (Machado et al., 2009). Essa resposta adaptativa é promovida pelo fechamento parcial dos estômatos, que também afeta a disponibilidade de substrato (CO₂) para a fotossíntese (Flexas et al.; 2006; Yordanov et al., 2003). Esse processo fisiológico, vital para as plantas, é então comprometido em condição de déficit hídrico, ocasionando decréscimos na produção de glicose que, posteriormente, seriam armazenados na forma de sacarose (Singels et al., 2005).

O fechamento precoce dos estômatos é uma das primeiras respostas de tolerância à seca. Isso ocorre porque, com um ligeiro secamento do solo, mesmo que não sejam afetadas as relações hídricas da parte aérea, em determinadas plantas há aumento na concentração do

ácido abscísico (ABA) no xilema, que promove o fechamento estomático, fazendo com que a planta perca menos água pela transpiração (Chaves et al., 2008; Santos & Carlesso, 1998). No entanto, o fechamento estomático também restringe a troca de gases entre o interior da folha e a atmosfera, causando diminuição da assimilação de CO₂ e da fotossíntese, da produção de fotoassimilados e do acúmulo de massa e sacarose (Inman-Bamber & Smith, 2005; Gava et al., 2010; Silva & Pincelli, 2010).

De acordo com Machado et al. (2009), a tolerância ao déficit hídrico é variável de acordo com a variedade e o estágio fenológico, ou seja, conforme a fase fenológica, o déficit hídrico pode ter maior ou menor impacto na produtividade agrícola (Inman-Bamber & Smith, 2005; Silva et al., 2010). Segundo Casagrande (1991), a falta de água no solo pode prejudicar a brotação dos toletes, assim como o excesso causado pela irrigação, drenagem irregular e acúmulo de água de chuva.

Por outro lado, a deficiência hídrica durante o ciclo indutivo atrasa e reduz o florescimento (Rodrigues, 1995). Desse modo, é recomendável interromper a irrigação na fase de maturação da cultura, em torno de três meses antes da colheita, de modo a evitar o florescimento e seus efeitos indesejáveis à qualidade industrial da matéria prima para a fabricação de açúcar e álcool. No entanto, cautela é necessária nessa prática, uma vez que o déficit hídrico prolongado pode reduzir a produtividade de colmos e açúcares da cana-de-açúcar.

Para fins de irrigação, o período de maior suscetibilidade ao déficit hídrico é o do rápido desenvolvimento da cultura, quando as plantas apresentam grande área foliar e necessitam de maior quantidade de água para realização de troca de gases com a atmosfera (Pires et al., 2008). Inman-Bamber & Smith (2005) relatam que a suscetibilidade da cana-de-açúcar à deficiência hídrica é maior quando as plantas estão na fase de alongamento dos colmos, o que causa sérios prejuízos na produção de fitomassa e no rendimento de sacarose (Silva & Costa, 2009). Ramesh & Mahadevaswamy (2000) consideram a fase de formação da cana-de-açúcar como de alta demanda hídrica, que compreende os períodos de perfilhamento e de rápido crescimento.

Segundo Doorenbos & Kassam (1979), dependendo do clima, a quantidade de água que a cultura necessita varia de 1.500 e 2.500 mm anuais. Nas áreas canavieiras do Brasil, o total de precipitação anual varia de 1.100 a 1.500 mm por ano (Alfonsi et al., 1987). Assim, segundo Dantas Neto et al. (2006), para se obter altas produtividades, é imprescindível o uso da tecnologia de irrigação.

De acordo com Inman-Bamber & Smith (2005), uma precipitação pluvial anual a partir de 1.000 mm, bem distribuída, é suficiente para a obtenção de altas produções na cana-de-açúcar. Isso implica que o manejo de água seja realizado com eficiência, com suprimentos adequados durante o crescimento vegetativo (principalmente nas fases de germinação, perfilhamento e alongamento dos colmos) e alguma restrição no período de maturação, para forçar o repouso fisiológico e o enriquecimento de sacarose. Silva et al. (2012) sugeriram que, para a cana-de-açúcar irrigada no semi-árido brasileiro, o requerimento hídrico é de 1.710 mm no ciclo anual da cultura.

Smit & Singels (2006), Machado et al. (2009) e Inman-Bamber (2004) verificaram aumento da senescência e redução da área foliar da cana-de-açúcar devido ao estresse hídrico, que ocorre quando o solo seco limita o fornecimento de nitrogênio suficiente para suprir a necessidade de crescimento da cultura, ocorrendo translocação do elemento das folhas mais velhas para os pontos de crescimento (Silva & Pincelli, 2010). O aumento da senescência do dossel vegetativo tem sido identificado como uma limitação potencial na produtividade da

cana-de-açúcar, sendo um mecanismo de fundamental influência na produção final, pois reduz a área fotossinteticamente ativa das plantas (Santos & Carlesso, 1998).

De acordo com Alonso (2006), para que ocorra melhor maturação, maior e mais rápida concentração de sacarose nos colmos, é imprescindível que, imediatamente antes ou logo no início do período de moagem, ocorram redução da temperatura ambiente e menores ou mesmo ausência de precipitações.

Teixeira (2009) estudou o acúmulo de sacarose (medido pelo açúcar total recuperável - ATR) pela cana-de-açúcar em função da interrupção da irrigação (*drying-off*) de 10 até 40 dias antes da colheita, não observando diferença estatística entre os tratamentos. Porém, Robertson & Donaldson (1998) estudaram os efeitos de interrupção da irrigação no período pré-colheita da cana-de-açúcar e observaram que houve aumento da concentração de sacarose (peso seco) sob *drying-off*, significando que a quantidade de sacarose por unidade de massa de colmos é geralmente aumentada ou inalterada para as reduções de até 10% na biomassa da cana. Passado esse limite, o rendimento de sacarose começa a cair.

Delgado-Rojas & Barbieri (1999), estudando dados de produtividade de 11 anos de produção (1975-1984) para a região de Araras-SP, observaram que a aplicação de água no período de maturação não acarretou acréscimos na produtividade de colmos e açúcar. Os mesmos autores citam que, em estudos feitos em Porto Rico, a interrupção da irrigação até cinco meses antes da colheita não reduziu a produção, além de ter promovido uma economia de água em torno de 250 mm por ano.

Diante do exposto, desenvolveu-se o presente trabalho com o objetivo de avaliar indicadores de desenvolvimento, maturação e produção da cana-de-açúcar em função da época de interrupção da irrigação e seu efeito no estado hídrico e no enfolhamento da cultura, visando economia de água e de energia elétrica, sem, no entanto, comprometer a produtividade e o rendimento industrial.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em agosto de 2010 na fazenda pertencente à SADA Bioenergia e Agricultura, localizada no município de Jaíba, latitude 15° 12' S, longitude 43° 56' W e altitude de 478 m, em uma área irrigada, com cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*) cultivar RB 86-7515, no terceiro ciclo (segunda soqueira) em estágio de maturação, onde eram realizados todos os tratos culturais (capinas, adubação, controle fitossanitário) no decorrer do ciclo. O manejo da irrigação foi realizado até a época determinada para a interrupção da irrigação de acordo com cada tratamento.

O equipamento de irrigação utilizado foi um sistema de aspersão do tipo pivô central, da marca Valley/Valmont, modelo 4865-8000 que, operando em regulagem do percentímetro em 100%, à velocidade máxima de 264 m h⁻¹ e vazão de 246 m³ h⁻¹, aplicava uma lâmina de 3,9 mm por volta. O equipamento é dotado de linha lateral de 428 m de comprimento, onde estão dispostos os emissores do tipo difusor, da marca Senninger, que trabalham com válvulas reguladoras de pressão de serviço de 140 kPa, irrigando uma área de, aproximadamente, 57 ha. A água de irrigação era captada nos canais do Distrito de Irrigação de Jaíba (DIJ), oriunda do Rio São Francisco.

O manejo da irrigação foi realizado com auxílio do aplicativo Irriger® versão 3.0, com o qual se determinou a demanda hídrica da cana-de-açúcar, utilizando-se coeficientes de ajuste (coeficiente da cultura “kc”, localização da irrigação “kl” e do solo “ks”) sobre a evapotranspiração de referência (ET_o). A lâmina bruta de irrigação foi calculada por meio de

um balanço hídrico, em que as entradas de água foram a irrigação e a precipitação pluvial efetiva e as saídas, a evapotranspiração da cultura (ETc) e a percolação além da profundidade considerada para o sistema radicular.

A lâmina bruta foi calculada pelo somatório das ETc no intervalo entre irrigações, indicando a necessidade hídrica da cultura considerando-se a uniformidade de aplicação do sistema e a área adequadamente irrigada de acordo com o valor comercial da cultura.

O método de estimativa da ETo utilizado pelo aplicativo Irriger®, utilizando os elementos meteorológicos disponíveis (radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar), foi o modelo de Penman-Monteith-FAO (Allen et al., 1998). Os dados meteorológicos utilizados para realização do experimento foram obtidos na estação meteorológica automática instalada na área experimental.

As propriedades do solo e as características da cultura cadastradas no aplicativo, para o manejo da irrigação, são apresentadas no Quadro 1.

Tabela 1. Propriedades do solo e características da cultura

Solo						
Profundidade	Capacidade de Campo ¹	Ponto de Murcha ¹	Densidade	Argila	Areia	Silte
(cm)	(%)	(%)	(g cm ⁻³)	(%)	(%)	(%)
0-25	10,14	4,5	1,55	12	83	5
25-50	10,14	4,5	1,54	12	82	6
Cultura						
Ciclo	Fase	Duração	Kc ²	Z ³	Área Sombreada	F ⁴
		(dias)		(m)	(%)	
Soca 2	Brotação	20	0,40	0,3	15	0,7
Soca 2	Perfilhamento	80	0,70	0,5	50	0,7
Soca 2	Desenvolvimento	240	1,25	0,5	100	0,7
Soca 2	Maturação	27	0,80	0,5	100	0,7

¹Referentes à umidade em peso, na base seca; ²Coefficiente cultural; ³Profundidade efetiva do sistema radicular; ⁴Fator de disponibilidade hídrica

A umidade média do perfil do solo foi monitorada com a determinação de umidade, em peso, na base seca, pelo método padrão de estufa, com amostragens mensais, utilizando trado holandês, balança analítica e estufa, durante a aplicação dos tratamentos, de modo a permitir o acompanhamento do balanço hídrico do solo que, comparado ao consumo de água da cultura estimado com o aplicativo, garantiu a aferição do método.

A área irrigada pelo pivô-central foi dividida em quatro sub-áreas, em forma de quadrantes, para a instalação dos tratamentos apresentados no Quadro 2. O experimento foi montado no delineamento em faixas, tendo quatro tratamentos e quatro repetições. As repetições de cada tratamento foram demarcadas, aleatoriamente, dentro de cada quadrante. As parcelas possuíam 12m de comprimento com 5 linhas de cana, tendo como área útil as três linhas centrais com comprimento de 10m.

Tabela 2. Dias que antecederam a colheita para promover o corte da irrigação, precipitação efetiva, lâminas totais de irrigação aplicadas e lâminas totais no ciclo da cultura em cada tratamento

Tratamento	Dias que antecederam a colheita (dias)	Precipitação efetiva (mm)	Irrigação total (mm)	Lâmina total (mm)
1	51	473,2	988,5	1461,7
2	37	473,2	1060,4	1533,6
3	22	473,2	1132,5	1605,7
4	07	473,2	1212,5	1685,7

Considerou-se, para o cálculo da lâmina total de água aplicada no ciclo, a soma entre a irrigação total e a precipitação efetiva. A irrigação total foi obtida pela soma das irrigações realizadas. A precipitação efetiva foi calculada, sempre que a precipitação total excedeu a 25 mm, subtraindo-se, da precipitação total, o excesso, que é a soma do escoamento superficial calculado pelo modelo SCS-USA e da lâmina calculada a cada evento de irrigação através do balanço hídrico diário. Não se utilizaram valores de precipitação efetiva maiores que a capacidade total de armazenamento de água do solo (52,45 mm).

A irrigação foi interrompida nos dias 15 e 29 de agosto para os tratamentos T1 e T2, respectivamente, e nos dias 13 e 28 de setembro, para os tratamentos T3 e T4, respectivamente, no ano 2010. A colheita da cana para todos os tratamentos ocorreu no dia cinco de outubro, com isso, as plantas dos tratamentos T1, T2, T3 e T4 ficaram, respectivamente, 51, 37, 22 e 7 dias sem irrigação ou chuva (dsi).

Foram determinados o potencial hídrico de antemanhã nas folhas, o Brix e o índice de maturação, o índice de área foliar, a produtividade de colmos e o teor de sacarose do caldo, como segue.

Para determinação do potencial hídrico foliar foi utilizada uma Câmara de Pressão de Scholander, com medições realizadas em folhas coletadas entre 05:00 e 06:00 horas (potencial hídrico de antemanhã). Selecionaram-se folhas totalmente desenvolvidas (Folhas +3), verdes e eretas, que tiveram suas pontas cortadas em segmentos de aproximadamente 20 cm, inseridas na câmara do equipamento e submetidas a pressão crescente, com nitrogênio gasoso, até o momento em que a folha liberasse a primeira gotícula de seiva. Neste momento fechou-se a válvula que libera o gás para o interior do equipamento e fez-se a leitura no manômetro, que indica a pressão interna da câmara, equivalente à tensão de água na folha da planta.

O Brix e o índice de maturação das plantas foram avaliados usando um refratômetro de campo digital. Em cada parcela, foram tomadas três plantas, aleatoriamente, e destas, extraídas gotas de caldo, com um trado perfurador, dos terceiros internódios a partir do solo e da ponta (último internódio que a bainha desprende-se facilmente do colmo). A relação existente entre o Brix da ponta e o Brix da base, indicou o índice de maturação (IM) pelos seguintes valores: menor que 0,60 – cana verde; 0,60 a 0,70 – maturidade baixa; 0,70 a 0,84 – maturidade média; 0,85 a 1,00 – cana madura; e maior que 1,00 – declínio da maturação.

O índice de área foliar-IAF ($m^2 m^{-2}$) foi determinado utilizando o equipamento LAI-2000 (LI-COR). O aparelho foi configurado para realizar seis leituras, sendo uma acima do dossel e cinco abaixo, em cada uma das quatro fileiras de plantas (repetições) de cada tratamento.

As colheitas dos colmos foram realizadas manualmente, cortando-se uma fileira de 10 metros lineares nas parcelas úteis de cada tratamento. Após cada colheita, as amostras foram pesadas em dinamômetro e determinadas as massas (kg) da produção de cada parcela de 15

m², sendo o resultado obtido convertido em toneladas de cana por hectare (t ha⁻¹), considerando-se o espaçamento entre fileiras de 1,50 m. Em cada parcela foram retirados três colmos, aleatoriamente, e enviados ao laboratório para a realização das análises de rendimento industrial.

A extração do caldo, a pesagem do bagaço úmido e as leituras de brix e de pol ocorreram imediatamente após a desintegração e homogeneização das amostras. O caldo foi extraído em prensa hidráulica com pressão constante de 24,5 MPa, sobre a amostra, durante 1 minuto.

O peso do bagaço (bolo) úmido utilizado para o cálculo da fibra da cana (F) foi obtido em balança semi-analítica de 500g, com aproximação de mais ou menos 0,5g.

A determinação do Brix (teor de sólidos solúveis por cento, em peso, de caldo) foi realizada em refratômetro digital, de leitura automática, com correção automática de temperatura e resolução máxima de 0,1° Brix, com o valor final corrigido e expresso a 20°C.

A leitura sacarimétrica do caldo foi determinada em sacarímetro digital automático, com peso normal igual a 26 g, resolução de 0,01°Z (um centésimo de grau de açúcar) e calibrado a 20°C, em comprimento de onda de 587 e 589,4 nm, provido de tubo polarimétrico de fluxo contínuo, após clarificação do caldo com mistura clarificante à base de alumínio.

Com os valores de brix, pol e peso do bagaço úmido foram determinados por meio de cálculos, conforme método CONSECANA, os açúcares totais recuperáveis (ATR) em kg t⁻¹.

Com os dados de produtividade e do preço da cana, calcularam-se os ganhos (R\$ ha⁻¹) que se obtém por continuar irrigando a cultura. Com o custo unitário da irrigação (R\$ mm⁻¹ ha) (considerando energia elétrica, água, consultoria, mão de obra, encargos e depreciação dos equipamentos) e a lâmina de irrigação aplicada (mm) depois do período de corte da irrigação do tratamento T1, calculou-se quanto se gasta a mais para manter a irrigação até próximo à colheita nos demais tratamentos. O preço da cana foi obtido na União dos Produtores de Bioenergia (UDOP), considerando-se a média dos preços mensais praticados entre os meses de novembro de 2010 a outubro de 2011. Os custos de água e energia elétrica foram obtidos a partir de contas de energia elétrica e água, fornecidas pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) e pelo Distrito de Irrigação de Jaíba (DIJ), respectivamente. Os demais custos foram obtidos junto à administração da Fazenda. O custo unitário de lâmina de irrigação totalizou em R\$ 1,56 mm⁻¹ ha.

Os valores obtidos nas repetições foram submetidos às análises de variância e, posteriormente, elaboradas regressões, com uso do aplicativo SAEG 9.1. Os coeficientes encontrados para as equações de regressão foram submetidos ao teste t, com posterior correção, considerando-se o Quadrado Médio do Resíduo e os Graus de Liberdade da ANOVA e o Quadrado Médio Independente da Regressão. Foram adicionados os Intervalos de Confiança da Regressão, ao nível de 95% de probabilidade, utilizando o aplicativo SigmaPlot 11.0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentados o balanço hídrico, que representa o manejo da irrigação, as épocas de interrupção da irrigação, I1, I2, I3 e I4, respectivamente para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, a umidade de segurança, os limites superior (capacidade de campo) e inferior (ponto de murcha permanente) de armazenamento de água no solo, a precipitação, as irrigações realizadas e a umidade do solo para os tratamentos durante a safra 2009/2010.

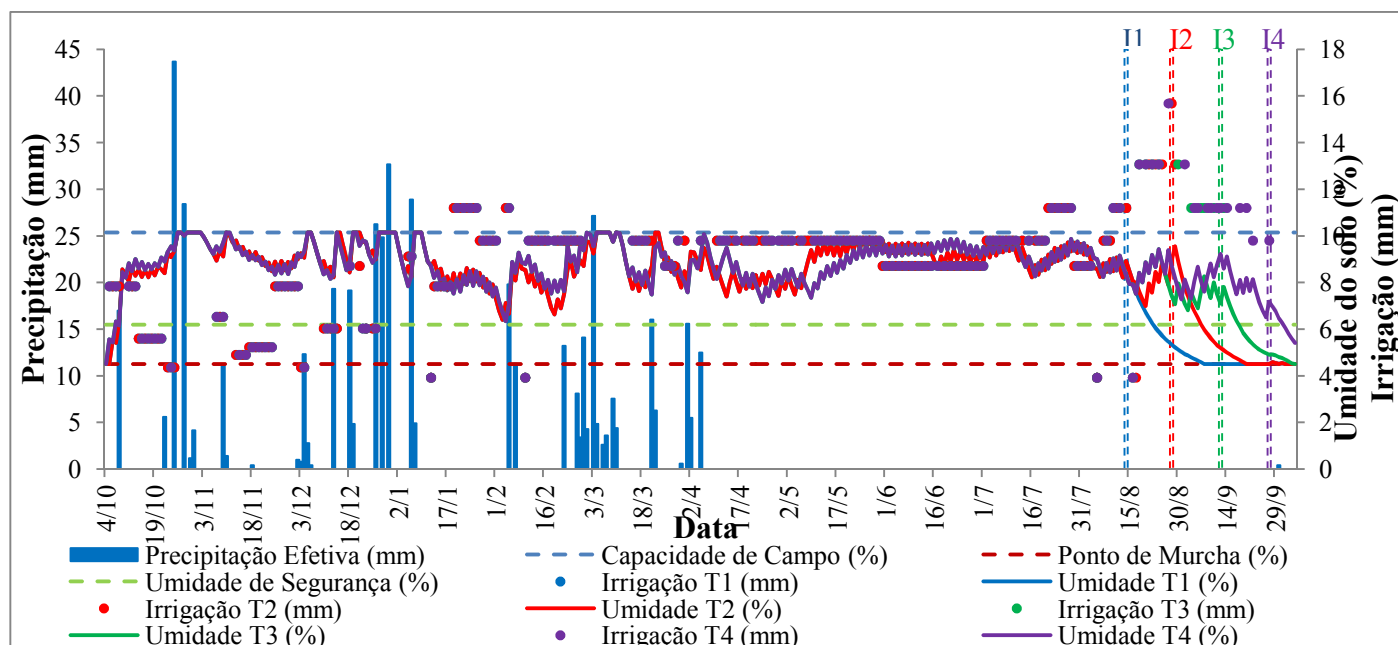
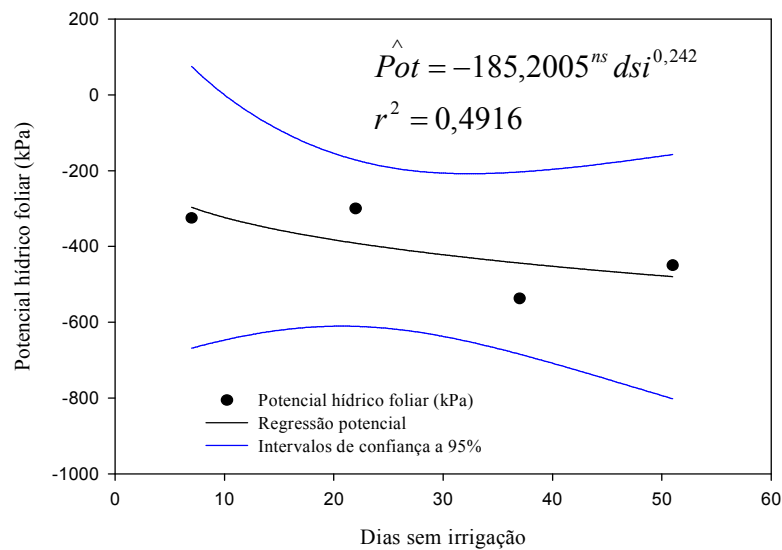


Figura 1. Balanço hídrico, interrupção da irrigação, limites de armazenamento de água no solo e medições de umidade do solo para o manejo da cultura da cana-de-açúcar durante a safra 2009/2010.

Observa-se que o período chuvoso encerrou-se no dia 06/04/2010, fazendo com que a cultura ficasse totalmente dependente da irrigação, para o suprimento de água, durante 182 dias. A umidade do solo chegou à umidade de segurança (fator f) nos dias 22/08, 06/09, 18/09 e 02/10, respectivamente, para os tratamentos T1, T2, T3 e T4. A umidade do solo equivalente ao ponto de murcha permanente (PM) foi alcançada nos dias 07/09, 20/09 e 04/10, respectivamente, para os tratamentos T1, T2 e T3. Para o tratamento T4 essa umidade não foi alcançada. Com isso, os tratamentos T1, T2, T3 e T4 ficaram, respectivamente, 16, 14, 16 e 4 dias com a umidade do solo entre a umidade de segurança e o PMP e 29, 16, 2 e 0 dias no PMP. Os Tratamentos T1, T2, T3 e T4 permaneceram 45, 30, 18 e 4 dias, respectivamente, em condições de estresse hídrico (umidade do solo abaixo da umidade de segurança). Os valores de umidade do solo medidas, para aferição, foram próximos dos calculados pelo aplicativo. As temperaturas máxima, média e mínima, medidas entre os dias 15/08 a 05/10/10 (período de maturação) foram, respectivamente 38,7; 24,4 e 12,0 °C.

Na Figura 2 são apresentados os resultados de potencial hídrico de antemanhã, medidos entre cinco e seis horas, da cultura da cana-de-açúcar, para os tratamentos, em função do tempo que permaneceram sem irrigação. Nota-se tendência de redução do potencial hídrico foliar para maiores períodos secos, que promovem alterações no estado hídrico das plantas, indicando que estavam sob deficiência hídrica.

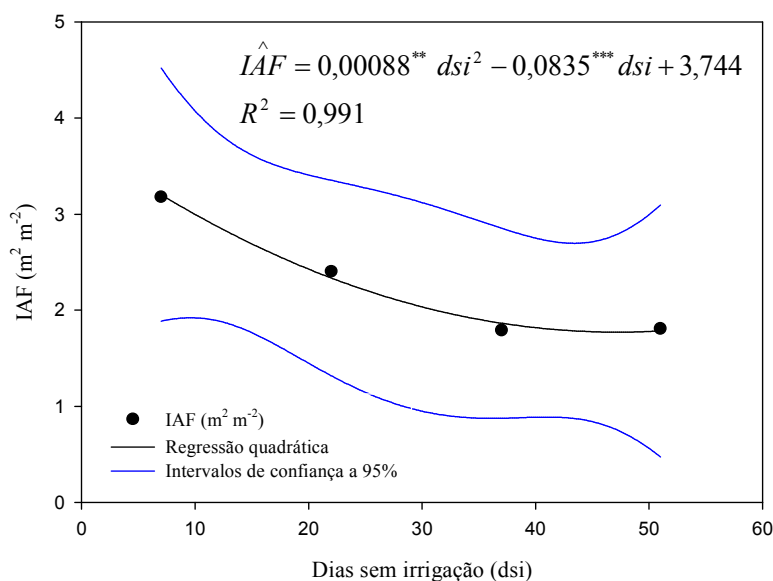


^{ns} Não significativo pelo teste “t”.

Figura 2. Potencial hídrico de antemanhã, medidos entre cinco e seis horas, da cultura da cana-de-açúcar, para os tratamentos, em função dos dias sem irrigação, equação de regressão linear e intervalos de confiança ao nível de 95% de probabilidade.

Silva (2010) encontrou valores de potencial hídrico foliar de antemanhã, em seis cultivares de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica, variando entre 160 e 240 kPa, com maiores valores, em termos absolutos, para os tratamentos com maior restrição hídrica às plantas. Machado et al. (2009) encontraram valores de 180 e 730 kPa, para plantas de cana-de-açúcar de primeiro ciclo, submetidas a boas condições de disponibilidade hídrica e ao déficit hídrico 14 dias após a suspensão da irrigação, respectivamente, ambas na fase de maturação (300 dias após o plantio). Estes valores se mostraram mais próximos aos encontrados no presente trabalho, se comparados os obtidos por Silva (2010).

Na Figura 3 é apresentada a evolução do índice de área foliar total (folhas verdes e secas) durante o experimento. Observa-se que os tratamentos que permaneceram maior tempo sem irrigação, apresentaram plantas com menores índices de área foliar. Isso ocorreu devido à antecipação do processo de senescência foliar nestes tratamentos, provocada pela deficiência hídrica, como também foi observado por Smit & Singels (2006); Machado et al. (2009) e Inman-Bamber (2004).



*** Significativo ao nível de 1%; ** Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “t”.

Figura 3. Índice de área foliar total (m² m⁻²) para os tratamentos na época de colheita, equação de regressão quadrática e intervalos de confiança ao nível de 95% de probabilidade.

Na Figura 4 é apresentada a evolução do Índice de Maturação (IM) a partir dos 51 dias antes da colheita, além das épocas de interrupção da irrigação para os quatro tratamentos. Os tratamentos T3 e T4 (22 e 07 dsi, respectivamente) apresentaram tendência de crescimento do IM até o momento da colheita, atingindo os maiores valores de índice de maturação, além de estarem na segunda avaliação, acima de 0,85, indicando que a cana estava madura. O tratamento T2 apresentou tendência de crescimento até os sete dias antes da colheita, com declínio a partir deste ponto. O tratamento T1 apresentou a mesma tendência do T2, porém com antecipação do declínio da curva de maturação, havendo maior decaimento a partir dos 15 dias antes da colheita. Todos os tratamentos apresentaram o índice de maturação acima de 0,85 na última avaliação, época da colheita.

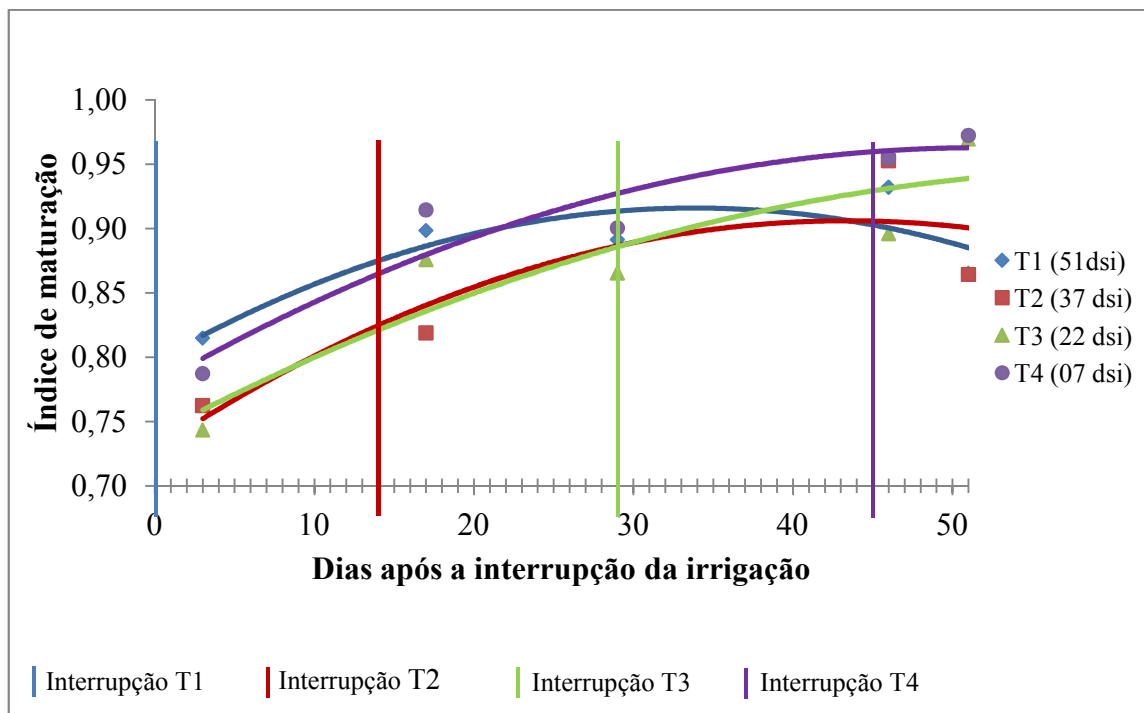


Figura 4. Evolução dos índices de maturação a partir dos 51 dias antes da colheita e épocas de interrupção da irrigação para cada tratamento.

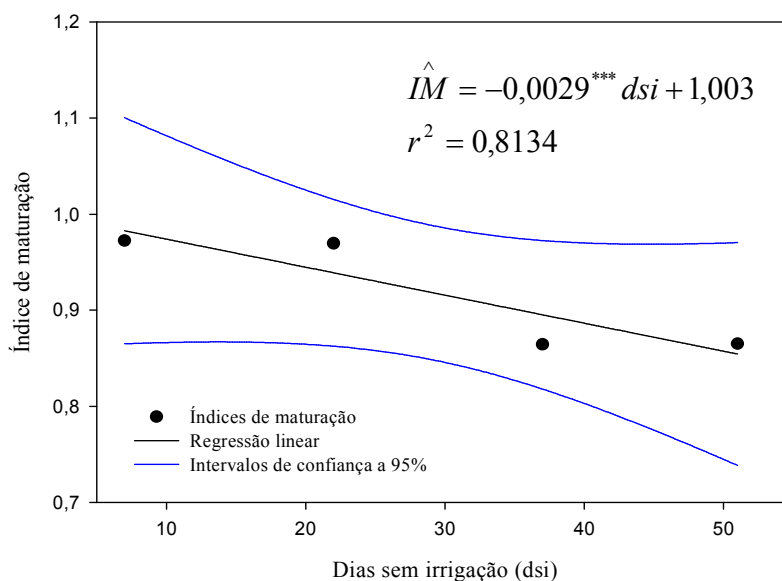
No Quadro 3 são apresentadas as equações de regressão dos índices de maturação em função dos dias sem irrigação (dsi), suas significâncias pelo teste “t” e os coeficientes de determinação (R^2). Apesar de não haver significância dos valores de β_2 para as equações referentes aos tratamentos com 37, 22 e 07 DSI, optou-se por manter o modelo quadrático, em função da tendência de decréscimo dos valores de índice de maturação, à medida que se aumenta o período em que a cultura ficou sem fornecimento de água.

Figura 3. Equações de regressão dos índices de maturação em função dos dias após o corte da irrigação (DACI), suas significâncias pelo teste “t” e coeficientes de determinação

Equação de Regressão	R^2
$\hat{I}M_{51} = -0,000104^{\dagger} DSI^2 + 0,0071^{**} DSI + 0,7965$	$R^2 = 0,7322$
$\hat{I}M_{37} = -0,000094^{ns} DSI^2 + 0,0082^* DSI + 0,7284$	$R^2 = 0,7876$
$\hat{I}M_{22} = -0,000051^{ns} DSI^2 + 0,0065^* DSI + 0,7398$	$R^2 = 0,8340$
$\hat{I}M_{07} = -0,000069^{ns} DSI^2 + 0,0071^* DSI + 0,7783$	$R^2 = 0,8952$

** Significativo ao nível de 5%; * Significativo ao nível de 10% de probabilidade; ^{ns} Não Significativo pelo teste “t”.

Na Figura 5 são apresentados os valores de índice de maturação para os tratamentos no período da colheita. Observa-se tendência de decréscimo dos valores do índice de maturação à medida que se aumentou o período em que a cultura ficou sem fornecimento de água.



*** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”.

Figura 5. Índice de maturação durante o estágio final da cultura, equação de regressão linear e intervalos de confiança ao nível de 95% de probabilidade.

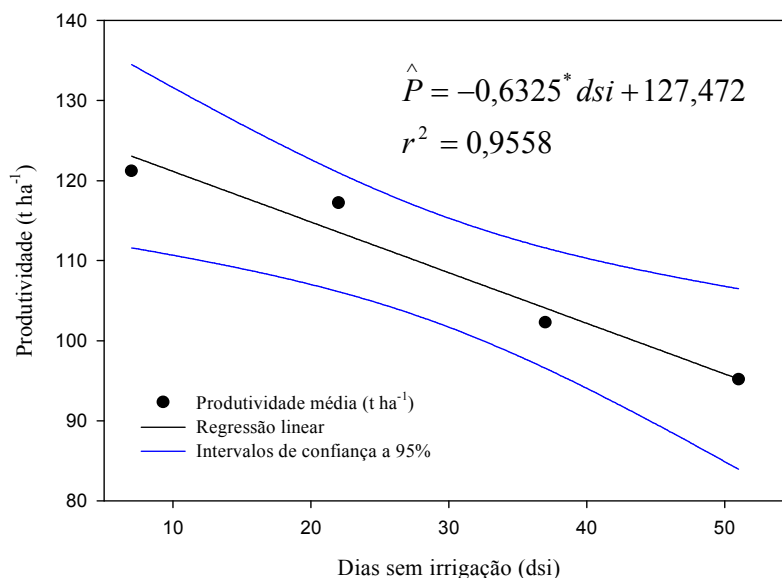
O decréscimo observado no índice de maturação para os tratamentos que permaneceram maior período sob deficiência hídrica está associado ao menor enfolhamento da cultura (apresentado na Figura 4), visto que a restrição hídrica afeta diretamente o desenvolvimento foliar (Inman-Bamber, 2004; Smit & Singels, 2006; Machado et al. 2009) e, com isso, ocorre menor interceptação de radiação solar e também menor acúmulo de matéria seca, devido à redução da capacidade fotossintética da planta (Heerden et al., 2010; Oliveira et al., 2005). Esse processo fisiológico é comprometido pela deficiência hídrica, ocasionando decréscimos na produção de carboidratos que posteriormente seriam armazenados (McCormick et al., 2008; Moore, 2005; Rae et al., 2005; Singels et al., 2005). Diola & Santos (2010) afirmam que o processo de acúmulo de açúcares pode ser intensificado em deficiência hídrica, no entanto, entrenós super amadurecidos (com alto conteúdo de fibra) não retêm apreciável quantidade de açúcar.

Segundo Machado et al. (2009), em condições de deficiência hídrica, ocorre redução de matéria seca do colmo da cana-de-açúcar e do conteúdo de sólidos solúveis devido à redução da fotossíntese e, conseqüentemente, da produção de sacarose.

Em trabalho conduzido por Duarte (2009), observou-se que o Brix da cana-de-açúcar, na região Norte de Minas Gerais, aumenta rapidamente até o mês de julho, continuando a aumentar mais lentamente até outubro, e caindo a partir daí até dezembro. Esses dados estão de acordo com os encontrados no presente trabalho, evidenciando a queda dos valores de Brix no final do ciclo da cana-de-açúcar, em condições de deficiência hídrica e são válidos para a cana-de-açúcar de ciclo tardio no final do ciclo.

Na Figura 6 são apresentados os resultados de produtividade de colmos, em toneladas por hectare, da cultura da cana-de-açúcar, para os tratamentos, em função do tempo que permaneceram sem irrigação. A maior produtividade (121,2 t ha⁻¹) foi obtida quando se manteve a irrigação até próximo à colheita e, à medida que se aumentou o período seco, as produtividades foram reduzidas, obtendo-se 117,2; 102,3 e 95,2 t ha⁻¹ para os tratamentos com 22, 37 e 51 dias secos, respectivamente. Esses resultados corroboram com os resultados

obtidos por Robertson & Donaldson (1998) e discordam dos resultados obtidos por Delgado-Rojas & Barbieri (1999) e Teixeira (2009).



*Significativo ao nível de 10% de probabilidade pelo teste “t”.

Figura 6. Produtividade de colmos de cana-de-açúcar para os tratamentos, equação de regressão linear e intervalos de confiança ao nível de 95% de probabilidade.

Os valores médios de ATR (kg t⁻¹) obtidos foram 168,6; 172,4; 171,8 e 175,0 para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente, não apresentando diferença significativa entre si.

Interrompendo-se a irrigação 51 (T1) dias antes da colheita, houve uma redução de 223,7 mm na lâmina total de irrigação aplicada no ciclo da cultura, representando uma economia de 18,4%, em relação ao Tratamento T4. Para os tratamentos T2 e T3, houve uma redução da lâmina de 152,1 e 80 mm, respectivamente, equivalentes a 12,6 e 6,6% de economia, se comparados ao Tratamento T4. No entanto, considerando-se um custo de irrigação estimado em R\$ 1,56 mm⁻¹ ha, e o preço da cana em R\$ 45,00 t⁻¹ (União dos Produtores de Bioenergia, 2011), tem-se, para o Tratamento T4, um aumento da receita em R\$ 1.747,00 ha⁻¹, com aumento do custo (em função da maior lâmina aplicada) de R\$ 348,00 ha⁻¹, resultando em renda líquida de R\$ 1.399,00 ha⁻¹. Como não houve diferença entre os valores de ATR, não se recomenda interromper a irrigação antes de sete dias da colheita, com a finalidade de aumentar o teor de sacarose nos colmos da cana-de-açúcar. Tal afirmação é válida para o preço mínimo da cana-de-açúcar de R\$ 9,00 t⁻¹, para a *cultivar* RB 86-7515, de ciclo tardio, colhida no início de outubro.

6 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, para a cultivar RB 86-7515, colhida no início de outubro, nas condições em que foi realizado o experimento, é possível concluir que: ocorreu antecipação da senescência foliar da cana-de-açúcar quando a irrigação foi interrompida no início da fase de maturação; a interrupção da irrigação da cana-de-açúcar até 51 dias antes da

colheita promoveu redução na produtividade de até 26 t ha⁻¹; não houve acréscimo de rendimento industrial (ATR) com a manutenção da irrigação até próximo à colheita; não se recomenda interromper a irrigação para a cultura da cana-de-açúcar, antes de sete dias da colheita, com a finalidade de aumentar o teor de sacarose nos colmos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 308 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).

ALFONSI, R. R.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Ed.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 42-55.

ALONSO, A. Estratégias para melhorar a qualidade da cana-de-açúcar para a indústria. In: .; FIGUERDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V.; SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2006. p. 361-367.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep, 1991. 157 p.

CHAVES, M. M; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, Lisbon, v. 103, n. 01, p. 551-560, 2008.

DANTAS NETO, J.; FIGUERDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C.A.V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2006.

DELGADO-ROJAS, J. S.; BARBIERI, V. Modelo agrometeorológico de estimativa da produtividade da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 7, n. 1, p. 67-73, 1999.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Ed.). **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool – Tecnologias e perspectivas**. Viçosa: UFV, 2010. p. 25-49.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 33).

DUARTE, A. M. A. **Crescimento e maturação da cana-de-açúcar, sob condições de cultivo irrigado, em Janaúba-MG**. 2009. 57 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)–Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2009.

FLEXAS, J.; RIBAS-CARBO, M.; BOTA, J. GALMES, J.; HENKLE, M.; MARTINEZ-CANELLAS, S.; MEDRANO, H. Decreased Rubisco activity during water stress is not

induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO₂ concentration. **New Phytologist**, Balears, v. 172, n. 01, p. 73-82, 2006.

GAVA, G.J. de C.; KÖLLN, O.T.; URIBE, R.A.M.; TRIVELIN, P.C.O.; CANTARELLA, H. Interação entre água e nitrogênio na produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*). In: CRUSCIOL, C.A.C.; SILVA, M. de A.; ROSSETO, R.; SORATTO, R.P. **Tópicos em Ecofisiologia da Cana-de-Açúcar**. Botucatu: FEPAF, 2010. p. 49-66.

HEERDEN, P.D.R. van; DONALDSON, R.A.; WATT, D.A.; SINGELS, A. Biomass accumulation in sugarcane: unravelling the factors underpinning reduced growth phenomena. **Journal of Experimental Botany**, Lankaster, v. 61, n. 11, p. 2877-2887, 2010.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Intl., v. 89, n. 01, p. 107-122, 2004.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Intl., v.92, n. 02, p. 185-202, 2005.

MACHADO, R.S.; RIBEIRO, V.; MARCHIORI, P.E.R.; MACHADO, D.F.S.P.; 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, 2009.

MCCORMICK, A. J.; CRAMER, M. D.; WATT, D. A. Culm sucrose accumulation promotes physiological decline of mature leaves in ripening sugarcane. **Field Crops Research**, Intl., v. 108, n. 03, p. 250-258, 2008.

MOORE, P. H. Integration of sucrose accumulation processes across hierarchical scales: towards developing an understanding of the genetic-crop continuum. **Field Crops Research**, Intl., v. 92, n. 02, p. 119-135, 2005.

OLIVEIRA, R.A.; DAROS, E.; ZAMBON, J.L.C.; WEBER, H.; IDO, O.T.; ZUFELLATO-RIBAS, K.C.; KOEHLER, H.S.; SILVA, D.K.T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do paraná: taxas de crescimento. **Scientia agraria**, Curitiba, v. 6, n.1/2, p. 85-89, 2005.

PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Irrigação e drenagem. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 631-670..

RAE, A.L.; GROF, C.P.L.; CASU, R.E.; BONNETT, G.D. Sucrose accumulation in the sugarcane stem: pathways and control points for transport and compartmentation. **Field Crops Research**, Intl., v. 92, n. 02, p. 159-168, 2005.

RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Malden, v. 185, n. 4, p. 249-258, 2000.

- ROBERTSON, M. J.; DONALDSON, M. J. Changes in the components of cane and sucrose yield in response to drying-off before harvest. **Field Crops Research**, Intl., v. 55, n. 03, p. 201-208, 1998.
- RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, 1995. 101 p.
- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.
- SILVA, A. L. C.; COSTA, W. A. J. M. Varietal variation in growth, physiology and yield of sugarcane under two contrasting water regimes. **Tropical Agricultural Research**, Peradeniya, v.12, n. 02, p.1-12, 2009.
- SILVA, T.G.F. da; MOURA, M.S.B. de; SOARES, J.M.; VIEIRA, V.J. de; JÚNIOR, W.G.F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 64-71, 2012.
- SILVA, M. A.; PINCELLI, R. P. Alterações morfofisiológicas na cana-de-açúcar em resposta à deficiência hídrica. In: CRUSCIOL, C. A. C et al. **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: FEPAF, 2010. p. 43-48.
- SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; ARANTES, M.T.; PINCELLI, R.P. Fenologia da cana-de-açúcar. In: CRUSCIOL, C.A.C.; SILVA, M. de A.; ROSSETO, R.; SORATTO, R.P. **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: FEPAF, 2010. p. 8-21.
- SILVA, P. B. **Aspectos fisiológicos de seis genótipos de cana-de- açúcar submetidos a estresse hídrico**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal e Produção de Plantas) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2010.
- SINGELS, A.; DONALDSON, R. A.; SMIT, M. A. Improving biomass production and partitioning in sugarcane: theory and practice. **Field Crops Research**, Intl., v. 92, n. 02, p. 291-303, 2005.
- SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, Intl., v. 98, n. 02, p. 91-97, 2006.
- TEIXEIRA, E. N. **Interceptação de água pelo dossel e influência da época da irrigação na qualidade da cana de açúcar**. 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA. **Indicadores de mercado: cana-de-açúcar**. Araçatuba: UDOP, 2011. Disponível em: <http://www.udop.com.br/graficos/cana_campo_pr.php>. Acesso em: 21 nov. 2011.
- YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought and stress tolerance. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, Sofia, Special Issue, p. 187-206, 2003.