

Respostas biométricas e fisiológicas ao deficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas

Ricardo Silverio Machado⁽¹⁾, Rafael Vasconcelos Ribeiro⁽²⁾, Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori⁽¹⁾, Daniela Favero São Pedro Machado⁽¹⁾, Eduardo Caruso Machado⁽²⁾ e Marcos Guimarães de Andrade Landell⁽³⁾

⁽¹⁾Instituto Agrônomo (IAC), Caixa Postal 28, CEP 13012-970 Campinas, SP. E-mail: machado_rs@yahoo.com.br, marchiori.paulo@gmail.com, danifavero@yahoo.com.br ⁽²⁾IAC, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica, Caixa Postal 28, CEP 13012-970 Campinas, SP. E-mail: rafael@iac.sp.gov.br, caruso@iac.sp.gov.br ⁽³⁾IAC, Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio da Cana, Caixa Postal 206, CEP 14001-970 Ribeirão Preto, SP. E-mail: mlandell@iac.sp.gov.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas biométricas e fisiológicas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) ao deficit hídrico (DH), em diferentes fases fenológicas. Os genótipos IACSP 94-2094 e IACSP 96-2042 foram submetidos a DH nas fases de crescimento inicial, crescimento máximo e de acúmulo de sacarose no colmo. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. A suscetibilidade ao DH foi determinada pela redução de matéria seca do colmo e do conteúdo de sólidos solúveis no caldo. O deficit hídrico causou redução nas trocas gasosas, nas três fases fenológicas, em ambos os genótipos. Foi observada menor altura das plantas, menor acúmulo de matéria seca do colmo e de sólidos solúveis, e redução no número e comprimento de entrenós, apenas na fase de crescimento inicial, no clone IACSP 96-2042. Na fase de crescimento inicial, observou-se tolerância ao DH no genótipo IACSP 94-2094, com evidências de aclimação fisiológica, e redução na produção de fitomassa e de sólidos solúveis no genótipo IACSP 96-2042, como resposta à menor condutância estomática e à menor eficiência aparente de carboxilação da fotossíntese. Independentemente da fase fenológica, o genótipo IACSP 94-2094 foi tolerante ao deficit hídrico, pois manteve a produção de fitomassa mesmo com redução das trocas gasosas.

Termos para indexação: *Saccharum*, crescimento, fotossíntese, seca.

Biometric and physiological responses to water deficit in sugarcane at different phenological stages

Abstract – The aim of this work was to evaluate the biometric and physiological responses of sugarcane (*Saccharum* spp.) to water deficit (WD), during different phenological phases. Genotypes IACSP 94-2094 and IACSP 96-2042 were subjected to WD conditions during the initial, maximum and sucrose accumulation phases. The experiment was carried out in a completely randomized design. Susceptibility to WD was established by reduction in stalk dry matter and soluble solids. Water deficit reduced leaf gas exchange in all phenological phases of both genotypes. Lower plant height, less stalk dry matter and soluble solids, and reduction in number and length of internodes were only observed during the initial growth phase of the IACSP 96-2042 clone. In the initial growth phase, tolerance to WD was observed for IACSP 94-2094, with evidence of physiological acclimation, and for IACSP 96-2042 in reduction phytomass production and its soluble solid content, caused by lower stomatal conductance and lower apparent carboxylation efficiency which limit photosynthesis. Regardless of the phenological phase, genotype IACSP 94-2094 was tolerant to WD, since its phytomass production was maintained even with impairment of leaf gas exchange.

Index terms: *Saccharum*, growth, photosynthesis, drought.

Introdução

A baixa disponibilidade hídrica afeta negativamente o crescimento dos cultivos agrícolas e é a principal causa da redução da produtividade (Pimentel, 2004; Flexas et al., 2006). As plantas tendem a diminuir a perda de água pelo fechamento parcial dos estômatos,

o que evita a redução do potencial da água na planta (ψ) em condições de deficit hídrico. Com valores de ψ_{12h} em torno de -1,3 MPa, o alongamento celular é praticamente nulo (Inman-Bamber & Jager, 1986), e o alongamento das folhas é mais afetado pela falta de água do que o alongamento do colmo (Inman-Bamber, 2004; Inman-Bamber et al., 2008). A deficiência

hídrica também causa acentuada senescência foliar e restrição ao surgimento de novas folhas, e o grau dessas alterações é decorrente da intensidade do estresse hídrico e depende do genótipo (Smit & Singels, 2006).

Conforme a fase fenológica, o déficit hídrico pode ter maior ou menor impacto na produtividade agrícola (Ramesh, 2000; Pimentel, 2004; Inman-Bamber & Smith, 2005). Para fins de irrigação, o período de maior suscetibilidade ao déficit hídrico é o de rápido desenvolvimento da cultura, quando as plantas apresentam grande área foliar e necessitam de maior quantidade de água para a 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 (Robertson et al., 1999; Silva & Costa, 2004). No entanto, Ramesh (2000) relata a alta demanda hídrica durante a fase de formação da cana-de-açúcar, que compreende os períodos de perfilhamento e de rápido crescimento e ocorre entre 60 e 150 dias após o plantio.

Mesmo quando se consideram as alterações morfofisiológicas, para evitar os efeitos negativos da deficiência hídrica, as plantas de cana-de-açúcar apresentam decréscimos significativos na produção de fitomassa. Redução de 35% na fitomassa de cana-de-açúcar foi verificada em consequência da restrição hídrica, em um período de alta demanda evaporativa em plantas jovens (Inman-Bamber, 2004). No entanto, há variação genotípica em cana-de-açúcar quanto à tolerância ao déficit hídrico (Saliendra et al., 1996; Inman-Bamber & Smith, 2005; Inman-Bamber et al., 2005). Essa característica tem controle multigênico (Rodrigues et al., 2009) e é expressa em diferentes níveis organizacionais, que incluem desde respostas celulares até modificações morfológicas (Passioura, 1997).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico, nos genótipos IACSP 94-2094 e IACSP 96-2042 de cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas.

Material e Métodos

Os genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) IACSP 94-2094 e IACSP 96-2042 foram avaliados

neste trabalho. A cultivar IACSP 94-2094 é um material desenvolvido pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar do Instituto Agrônomo (IAC), caracterizado por apresentar rusticidade e adaptação a ambientes restritivos (Landell et al., 2005). O clone IACSP 96-2042 é um material promissor, que está sendo avaliado em testes de campo também pelo IAC.

O processo de obtenção das plantas foi padronizado, para que elas tivessem origem e porte semelhantes. As gemas foram obtidas de colmos sadios e foram dispostas em potes de plástico de 150 mL com substrato inerte. Após 42 dias do plantio das gemas (DAP), as plantas foram transplantadas para tanques de alvenaria (2x0,5x0,6 m), em condição de casa de vegetação, e foram mantidas com o colmo principal e três perfilhos. Os tanques continham solo previamente analisado e corrigido, conforme Raj et al. (1996). Cada tanque continha uma planta (touceira com quatro colmos), de cada genótipo estudado, de tal forma que a disponibilidade hídrica fosse igual para ambos os genótipos.

O déficit hídrico foi imposto pela suspensão da rega, em três fases distintas do ciclo da planta: a primeira rega foi na fase de crescimento inicial (FCI), entre 73 e 114 DAP; a segunda, na fase de crescimento máximo (FMC), entre 170 e 184 DAP; e a terceira, na fase de acúmulo de sacarose nos colmos (FAS), de 287 a 300 DAP, quando os diâmetros dos colmos tinham 30,4±0,7 mm, em IACSP 94-2094, e 41,5±0,8 mm em IACSP 96-2042.

Portanto, havia quatro tratamentos, com quatro tanques cada: controle (solo próximo à capacidade de campo, com umidade de 30,7±1,2%); e déficit hídrico em FCI, FMC e FAS, de tal forma que as plantas não passaram por mais de um período de déficit hídrico. O retorno da rega ocorreu quando os genótipos apresentaram número de folhas completamente expandidas e verdes menor que dois no colmo primário. A duração da suspensão da rega foi diferente entre as fases, em razão do porte da planta, tendo sido menor nas duas últimas fases, uma vez que o consumo de água era maior em razão da maior área transpirante. No momento de déficit hídrico máximo, a umidade do solo era de 15,9±0,9% em FCI, 17,6±0,3% em FMC e 18,1±0,8% em FAS. A temperatura média do ar e a máxima radiação fotossinteticamente ativa, nos três ciclos de déficit hídrico, foram de: 22,5°C e 1.963 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em FCI; 20,6°C e 1.047 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em FMC; e 25,4°C e 1.782 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em FAS.

O período de déficit hídrico foi variável, de acordo com o ciclo em que houve a imposição da suspensão da rega com duração de 43 dias (73 a 115 DAP) em FCI, de 15 dias (170 a 184 DAP) em FMC, e de 14 dias (287 a 300 DAP) em FAS.

O potencial da água na folha (ψ) às 6h foi avaliado nos três ciclos de déficit hídrico. No primeiro ciclo, ψ foi avaliado com microvoltímetro modelo HR-33T Wescor (Logan, EUA) no modo higrométrico (Boyer, 1995). Discos foliares (diâmetro de 0,6 cm) foram dispostos em câmaras modelo C-52 Wescor (Logan, EUA), imediatamente após a excisão. As medidas foram realizadas após a estabilização da umidade do ar no interior da câmara. Nos outros ciclos, ψ foi medido com uma câmara de pressão (modelo 3005, Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, EUA). Independentemente da fase fenológica, a coleta das amostras foi realizada no dia de máximo déficit hídrico.

As trocas gasosas foram avaliadas com um analisador de gases por infravermelho, modelo Li-6400 Licor (Lincoln, EUA). As variáveis estudadas foram: assimilação de CO_2 (P_N); transpiração (E); condutância estomática (g_s); e concentração intercelular de CO_2 (C_i). Calculou-se a eficiência aparente de carboxilação (P_N/C_i) e a eficiência intrínseca do uso da água ($EUA_1 = P_N/g_s$). A concentração de CO_2 do ar variou entre 382 e 397 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, durante as avaliações de trocas gasosas. A intensidade luminosa foi controlada artificialmente pelo Li-6400 e mantida em 2.000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante as avaliações. As trocas gasosas foram medidas entre 14 e 15 h, no dia de máximo déficit hídrico, na primeira folha totalmente expandida e com lígula aparente (folha +1), no terço médio do limbo foliar.

Durante o período experimental, foi medida a altura das plantas (do solo até o ápice da folha mais alta), com trena comum, e foi contado o número de folhas verdes (folhas com lígula visível e com mais de 50% da área verde). No final do terceiro ciclo de déficit hídrico, foi impraticável medir a altura das plantas, em razão do fechamento do dossel. O comprimento médio dos entrenós (comprimento útil do colmo/número de entrenós), o número de entrenós e a matéria seca de colmo foram avaliados aos 318 DAP (2/12/2008). Nessa ocasião, o conteúdo de sólidos solúveis no caldo foi determinado com refratômetro digital modelo PAL-1 Atago (Tóquio, Japão). A matéria seca dos colmos foi determinada após secagem em estufa a 60°C até massa constante.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, e as causas de variação foram: a condição hídrica (controle e déficit hídrico), o estágio fenológico da planta (FCI, FMC e FAS) e o material vegetal (IACSP 94-2094 e IACSP 96-2042). Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando detectada diferença significativa, as médias ($n = 3$ ou $n = 4$, conforme a variável) foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

O déficit hídrico ocasionou redução significativa de ψ do genótipo IACSP 96-2042, nas três fases de desenvolvimento da planta, FCI, FMC e FAS, enquanto no genótipo IACSP 94-2094 houve redução de ψ apenas em FMC e FAS (Tabela 1). Independentemente de ψ , o tratamento com déficit hídrico promoveu decréscimo da condutância estomática (g_s) em ambos os genótipos em FCI, FMC e FAS (Figura 1 A, B e C). Essa resposta é esperada em plantas submetidas à deficiência hídrica

Tabela 1. Valores médios±erro-padrão do potencial da água na folha (ψ), em dois genótipos de cana-de-açúcar mantidos em condições de boa disponibilidade hídrica (C) e, sob déficit hídrico (DH), pela suspensão da rega em três fases fenológicas: crescimento inicial (FCI), máximo crescimento (FMC) e acúmulo de sacarose (FAS)⁽¹⁾.

Fase fenológica	Dias após a suspensão da rega ⁽²⁾	Genótipo	ψ (MPa)	
			C	DH
FCI	43 (115)	IACSP 94-2094	-0,77±0,09a	-0,68±0,07a
		IACSP 96-2042	-0,73±0,03a	-1,73±0,05b
FMC	15 (184)	IACSP 94-2094	-0,20±0,03a	-1,42±0,13b
		IACSP 96-2042	-0,30±0,03a	-1,05±0,03b
FAS	14 (300)	IACSP 94-2094	-0,18±0,02a	-0,73±0,14b
		IACSP 96-2042	-0,27±0,03a	-0,58±0,05b

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ⁽²⁾Avaliações realizadas às 6h, nos dias de máximo déficit hídrico; o valor entre parênteses corresponde ao número de dias após o plantio.

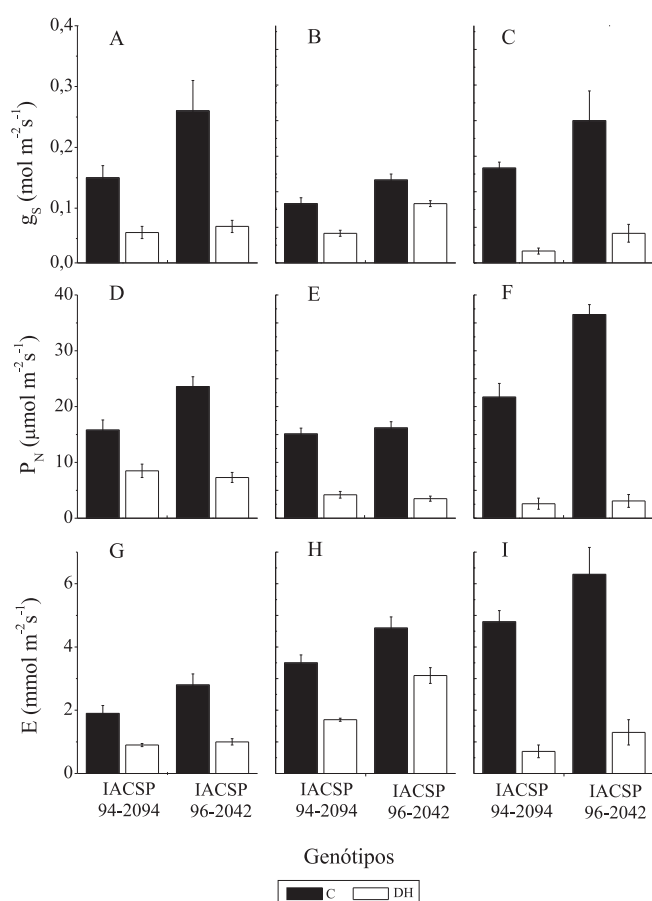


Figura 1. Condutância estomática (g_s), assimilação de CO_2 (P_N) e transpiração (E), em dois genótipos de cana-de-açúcar, em condição de boa disponibilidade hídrica (C) ou de deficit hídrico (DH) imposto pela suspensão da rega em três fases fenológicas: crescimento inicial (FCI, A, D e G); máximo crescimento (FMC, B, E e H); e acúmulo de sacarose (FAS, C, F e I). Medidas realizadas entre 14 e 15h, no dia de máximo deficit hídrico (115 DAP em FCI, 184 DAP em FMC e 300 DAP em FAS). A linha representa o erro-padrão.

é considerada uma das primeiras estratégias da planta para impedir a desidratação excessiva das folhas (Cornic et al., 1992; Saliendra et al., 1996; Yordanov et al., 2003; Inman-Bamber & Smith, 2005).

Os decréscimos de g_s , induzidos pelo deficit hídrico, também afetaram significativamente a assimilação de CO_2 (P_N ; Figura 1 D, E e F), resultado bem relatado em espécies cultivadas (Pimentel, 2004; Singels et al., 2005; Chaves et al., 2008). Em geral, a redução em P_N em consequência do deficit hídrico foi menor em FCI, quando IACSP 94-2094 apresentou decréscimo de 46% e IACSP 96-2042, de aproximadamente 69%. Nas demais fases fenológicas, os genótipos apresentaram redução semelhante de P_N , de aproximadamente 75% em FMC e 89% em FAS. A redução de g_s também causou decréscimo na transpiração (E), em ambos os genótipos estudados, em condição de deficit hídrico (Figura 1 G, H e I). Pode-se considerar que a redução do uso da água pelo decréscimo de E , motivado pelo fechamento parcial dos estômatos, foi uma estratégia bem-sucedida nos dois genótipos.

Com o agravamento do deficit hídrico, as reações bioquímicas da fotossíntese podem ser afetadas, o que acarreta limitações de origem não estomática, em condição de deficit máximo (Cornic et al., 1992). Todavia, o genótipo IACSP 94-2094 não apresentou redução significativa em P_N/C_i , medida indireta da eficiência de carboxilação, em razão do deficit hídrico em FCI (Tabela 2). Nas outras fases e independentemente do genótipo, houve redução de P_N/C_i no deficit máximo hídrico. Os genótipos não apresentaram alteração da eficiência intrínseca do uso da água (EUA_I) em razão do deficit hídrico em FCI, no entanto, houve redução de EUA_I nas fases FMC e FAS.

Tabela 2. Valores médios \pm erro-padrão de eficiência aparente de carboxilação (P_N/C_i) e eficiência intrínseca do uso da água (EUA_I), em dois genótipos de cana-de-açúcar, com boa disponibilidade hídrica (C) ou com deficit hídrico (DH) pela suspensão da rega em três fases fenológicas: crescimento inicial (FCI), máximo crescimento (FMC), e acúmulo de sacarose (FAS)⁽¹⁾.

Fase fenológica	Dias após a suspensão da rega ⁽²⁾	Genótipo	P_N/C_i ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$) ⁽²⁾		EUA_I ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	
			C	DH	C	DH
FCI	43 (115)	IACSP 94-2094	0,86 \pm 0,15a	0,65 \pm 0,16a	107,3 \pm 11,6a	141,9 \pm 19,0a
		IACSP 96-2042	1,22 \pm 0,08a	0,50 \pm 0,21b	96,1 \pm 11,9a	106,8 \pm 31,2a
FMC	15 (184)	IACSP 94-2094	1,34 \pm 0,06a	0,27 \pm 0,07b	147,9 \pm 3,9a	85,6 \pm 15,0b
		IACSP 96-2042	1,04 \pm 0,11a	0,12 \pm 0,02b	115,9 \pm 4,8a	38,3 \pm 5,8b
FAS	14 (300)	IACSP 94-2094	1,68 \pm 0,20a	0,18 \pm 0,14b	139,1 \pm 9,0a	79,3 \pm 37,6b
		IACSP 96-2042	3,31 \pm 0,82a	0,13 \pm 0,05b	131,8 \pm 8,1a	51,4 \pm 14,5b

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ⁽²⁾Avaliações realizadas nos dias de máximo deficit hídrico, o valor entre parênteses corresponde ao número de dias após o plantio.

O genótipo IACSP 94-2094 foi o menos afetado pela falta de água e manteve o crescimento, enquanto o clone IACSP 96-2042 foi o mais afetado pelo deficit hídrico e apresentou redução do porte da planta, do acúmulo de matéria seca no colmo e do conteúdo de sólidos solúveis no caldo, em condição de baixa disponibilidade hídrica em FCI (Figuras 2 e 3). Segundo Silva et al. (2008), a variação na altura da planta é um indicativo de tolerância ou suscetibilidade da cana-de-açúcar ao deficit hídrico. Com essa indicação e a comparação da altura dos dois genótipos (Figura 2 A e B), há evidências de que o

IACSP 94-2094 seria tolerante e IACSP 96-2042 seria suscetível ao deficit hídrico.

A redução na matéria seca do colmo e no conteúdo de sólidos solúveis no genótipo IACSP 96-2042 foi ocasionada pela redução de P_N , o que causou menor produção de fotoassimilados necessários para o crescimento e para o acúmulo de sólidos solúveis. Apesar da redução significativa de P_N em todas as fases fenológicas avaliadas (Figura 1 D, E e F), apenas o genótipo IACSP 96-2042 apresentou redução significativa do crescimento com o deficit hídrico em FCI (Figuras 2 B e 3 C). É importante considerar

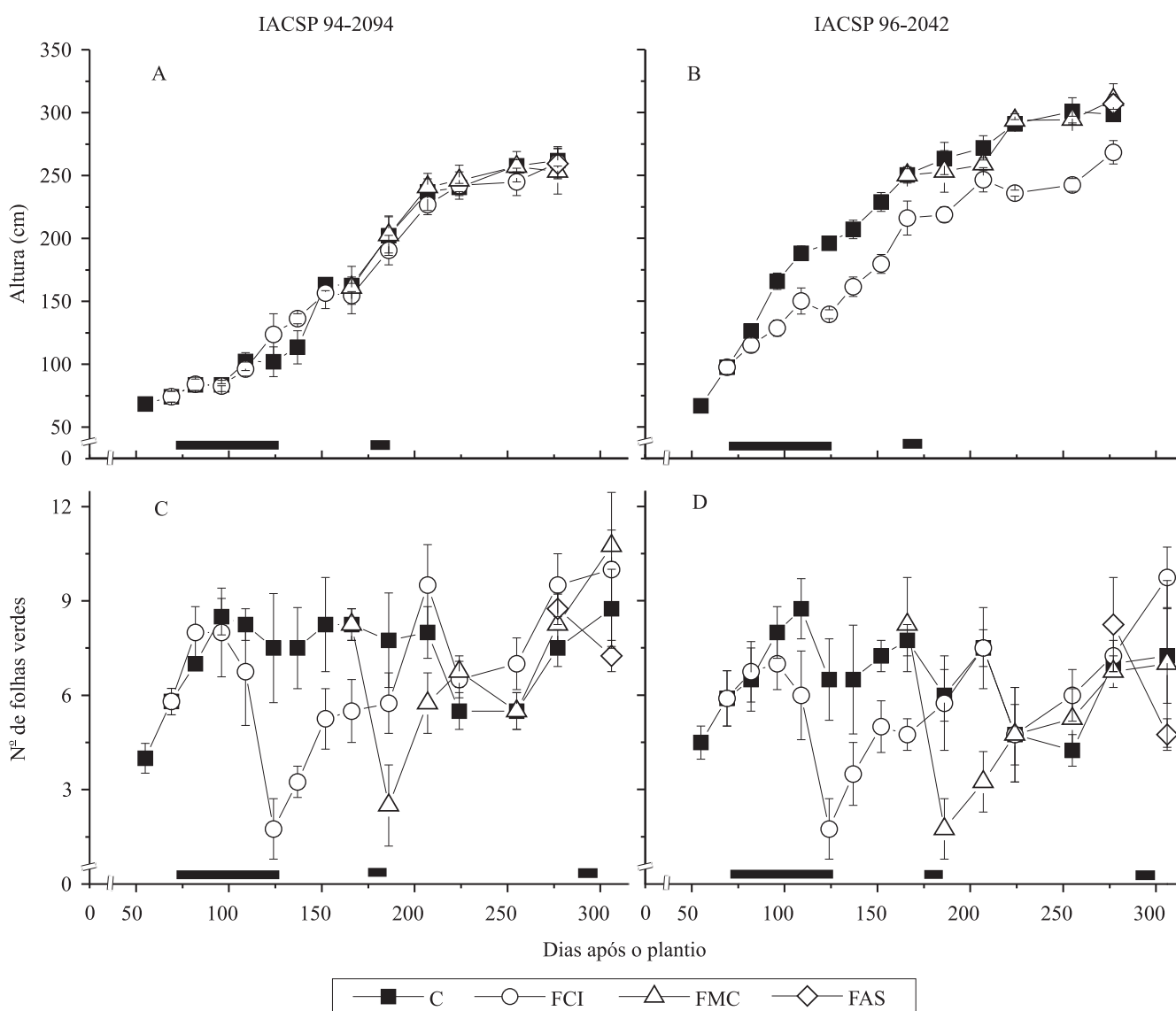


Figura 2. Crescimento em altura e número de folhas verdes, ao longo do ciclo de cultivo de dois genótipos de cana-de-açúcar, em condições de boa disponibilidade hídrica (C, ■), submetidos a deficit hídrico na fase de crescimento inicial (FCI, ○), máximo crescimento (FMC, △) e acúmulo de sacarose (FAS, ◇). A linha vertical representa o erro-padrão. Barras horizontais no eixo x indicam o período de suspensão da rega em FCI, FMC e FAS.

que, nessa fase, houve lenta redução da disponibilidade hídrica no solo, o que poderia permitir a aclimação das plantas à condição limitante. Evidências da aclimação fisiológica foram observadas no genótipo IACSP 94-2094, que não teve redução em ψ , P_N/C_1 e EUA_I , com P_N menos afetada pelo deficit hídrico em FCI (Tabelas 1 e 2, Figura 1 D).

Os dois genótipos avaliados apresentaram redução significativa na quantidade de folhas verdes (FV), decorrente do deficit hídrico (Figura 2 C e D). Smit & Singels (2006) relataram que a senescência foliar é responsiva ao deficit hídrico e ocorre após a redução no surgimento de folhas. A redução de FV tem sido relatada quanto a plantas com deficit hídrico (Inman-Bamber, 2004; Pimentel, 2004) e atribuída à estratégia para

diminuir a superfície transpirante e o gasto metabólico para a manutenção dos tecidos (Inman-Bamber & Smith, 2005; Smit & Singels, 2006; Inman-Bamber et al., 2008). Se a senescência foliar e a paralisação do surgimento de folhas forem respostas ao deficit hídrico dependentes do genótipo (Smit & Singels, 2006), o FV pode ser usado como indicador do efeito do deficit hídrico em cana-de-açúcar, conforme sugere Inman-Bamber (2004). Todavia, os dados de FV não mostraram diferenças significativas entre os genótipos estudados, mesmo com diferenças significativas na altura das plantas (Figura 2). Embora a altura das plantas seja uma variável com potencial para ser usada como critério para estabelecer a suscetibilidade de cana-de-açúcar ao deficit hídrico (Silva et al., 2008),

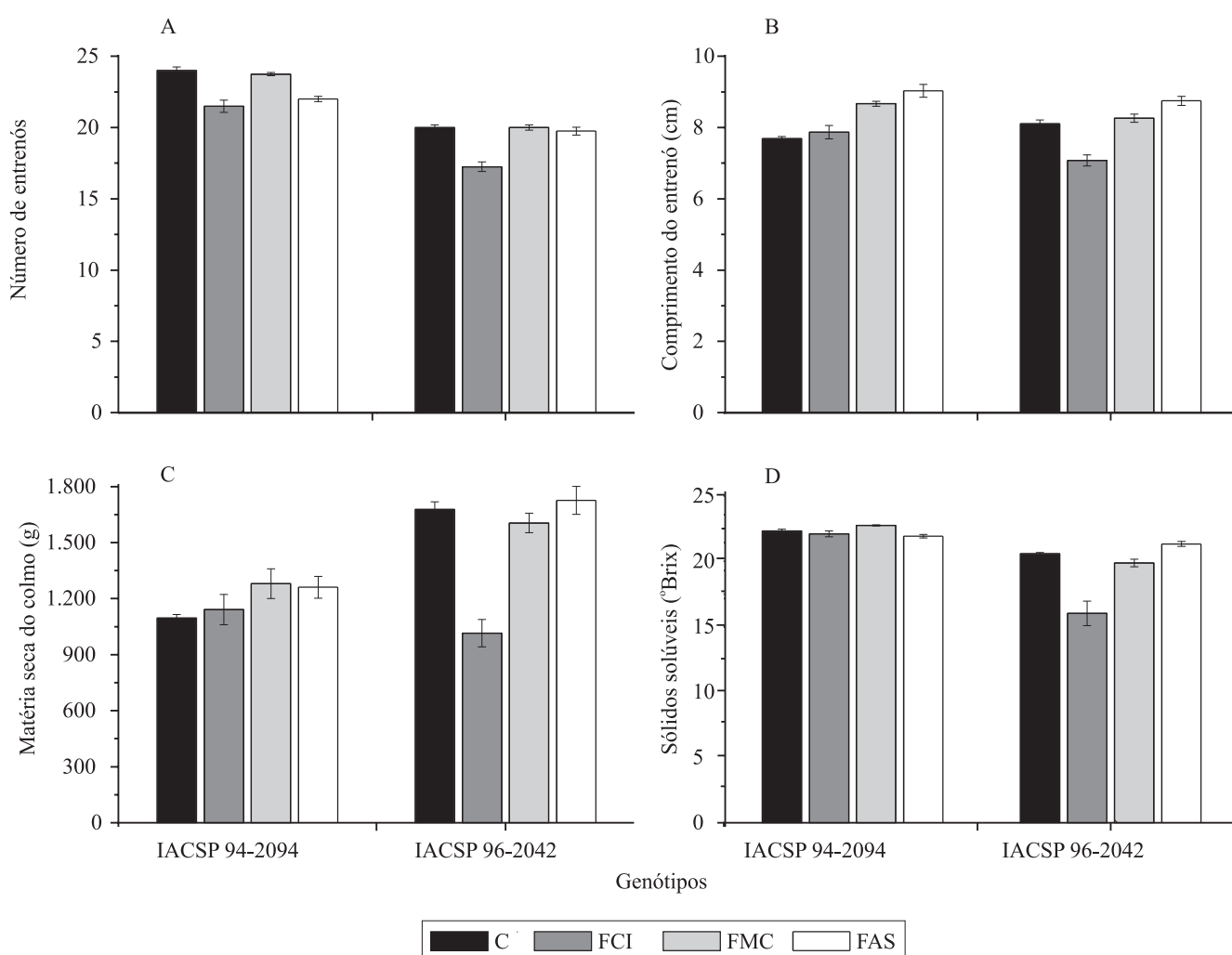


Figura 3. Número de entrenós (A), comprimento do entrenó (B), matéria seca do colmo (C) e sólidos solúveis no caldo (D) avaliados aos 318 DAP, em dois genótipos de cana-de-açúcar submetidos a condições de boa disponibilidade hídrica (C) e a deficit hídrico, na fase de crescimento inicial (FCI), máximo crescimento (FMC) e acúmulo de sacarose (FAS). Linhas verticais representam o erro-padrão.

deve-se considerar a arquitetura diferencial do dossel nos diferentes genótipos.

O deficit hídrico também influenciou o número de entrenós, o que reduziu esse índice nas plantas submetidas à suspensão da rega em FCI, nos dois genótipos avaliados (Figura 3 A). O genótipo IACSP 94-2094 apresentou maior número de entrenós do que IACSP 96-2042, independentemente da fase fenológica. Essa variável deve ser analisada em conjunto com o comprimento de entrenó, que aumentou ($p < 0,05$) em consequência do deficit hídrico de tal forma que, quanto mais tardia foi a suspensão da rega, maior foi o comprimento do entrenó (Figura 3 B). O crescimento é afetado pelo deficit hídrico por restrições tanto na divisão como no alongamento celular em cana-de-açúcar. Decréscimos na expansão das folhas e colmo ocorrem antes da redução de FV e, posteriormente, afetam o acúmulo de fitomassa e de sólidos solúveis no caldo (Inman-Bamber, 2004).

Em razão do aumento do comprimento dos entrenós, sem redução no número de entrenós, o efeito do deficit hídrico pode ter ocorrido apenas no alongamento das folhas e no crescimento secundário dos colmos (diâmetro). Em condição de restrição hídrica, há tendência de redução do comprimento de entrenó (Ramesh & Mahadevaswamy, 2000), mas, neste caso, foi observada resposta contrária (Figura 3 B). Esse aspecto deve ser considerado em estudos futuros que abordem as relações hídricas nos tecidos do colmo, pois o deficit hídrico estimula o alongamento dos entrenós, o que acontece apenas com o aumento do número de células ou expansão celular.

Com a variação de ψ (Tabela 1) e o crescimento das plantas (Figuras 2 e 3), o genótipo IACSP 94-2094 pode ser considerado tolerante ao deficit hídrico em FCI, pois manteve o mesmo ψ e não apresentou redução ($p > 0,05$) no crescimento em altura, na produção de matéria seca de colmo ou no conteúdo de sólidos solúveis no caldo (Figuras 2 A, 3 C e D). Essas respostas não foram observadas no genótipo IACSP 96-2042 em FCI. Nas demais fases, a redução de ψ e das trocas gasosas não teve consequência para o crescimento e a produção de fitomassa (Tabela 1 e Figuras 2 a 3).

Deve ser ressaltada a maior atividade fotossintética do clone IACSP 96-2042, em condição de boa disponibilidade hídrica, em comparação ao IACSP 94-2094 (Figura 1 D). Essa maior fotossíntese foi

positivamente correlacionada à maior altura das plantas (Figura 2 A e B) e ao acúmulo de matéria seca de colmo (Figura 3 C), o que indica o bom desempenho de IACSP 96-2042 em condições não limitantes. Em média, a matéria seca de colmo de IACSP 96-2042 foi mais de 1,5 vez maior que a do IACSP 94-2094, em condição de boa disponibilidade hídrica. Portanto, pode-se considerar que a cultivar IACSP 94-2094 é tolerante ao deficit hídrico, enquanto o clone IACSP 96-2042 é produtivo em condições não restritivas.

Conclusões

1. O deficit hídrico, na fase de crescimento inicial do genótipo IACSP 96-2042, causa redução na produção de fitomassa e de sólidos solúveis em razão de menor condutância estomática e de menor eficiência aparente de carboxilação da fotossíntese.

2. Independentemente da fase fenológica, o genótipo IACSP 94-2094 é tolerante ao deficit hídrico, pois mantém a produção de fitomassa, mesmo com redução das trocas gasosas.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelas bolsas de produtividade em pesquisa, de mestrado e de desenvolvimento técnico-industrial; ao técnico Severino Silva Nogueira, pelo auxílio nas avaliações biométricas.

Referências

- BOYER, J.S. **Measuring the water status of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 178p.
- CHAVES, M.M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v.103, p.551-560, 2009.
- CORNIC, G.; GHASHGHAIE, J.; GENTY, B.; BRIANTAIS, J.M. Leaf photosynthesis is resistant to a mild drought stress. **Photosynthetica**, v.27, p.295-309, 1992.
- 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**, v.172, p.73-82, 2006.

- INMAN-BAMBER, N.G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, v.89, p.107-122, 2004.
- INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SMITH, D.M.; THORBURN, P.J. Sugarcane physiology: integrating from cell to crop to advance sugarcane production. **Field Crops Research**, v.92, p.115-117, 2005.
- 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**, v.59, p.13-26, 2008.
- INMAN-BAMBER, N.G.; JAGER, J.M. de. Effect of water stress on growth, leaf resistance and canopy temperature in field-grown sugarcane. **Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association**, v.60, p.156-161, 1986.
- 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.
- LANDELL, M.G. de A.; CAMPANA, M.P.; FIGUEIREDO, P.; VASCONCELOS, A.C.M. de; XAVIER, M.A.; BIDOIA, M.A.P.; PRADO, H. do; SILVA, M. de A.; DINARDO-MIRANDA, L.L.; SANTOS, A. da S. dos; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; SILVA, D.N. da; MARTINS, A.L.M.; GALLO, P.B.; KANTACK, R.A.D.; CAVICHIOLI, J.C.; VEIGA FILHO, A. de A.; ANJOS, I.A. dos; AZANIA, C.A.A.M.; PINTO, L.R.; SOUZA, S.A.C.D. **Variedades de cana-de-açúcar para o Centro-Sul do Brasil**. Campinas: Instituto Agronômico, 2005. 33p. (IAC. Boletim técnico, 197); (série tecnologia APTA).
- PASSIOURA, J.B. Drought and drought tolerance. In: BELHASSEN, E. (Ed.). **Drought tolerance in higher plants: genetical, physiological and molecular biological analysis**. Dordrecht: Kluwer, 1997. p.1-5.
- PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, 2004. 191p.
- PIRES, R.C.M.; ARRUDA, F.B.; SAKAI, E. Irrigação e drenagem. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. p.631-670.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; SPIRONELLO, A.; PENATTI, C.P.; MORELLI, J.L.; FILHO ORLANDO, J.; LANDELL, M.G.A.; ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. p.237-239. (IAC. Boletim técnico, 100).
- RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.185, p.83-89, 2000.
- 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**, v.185, p.249-258, 2000.
- ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; DONALDSON, R.A.; INMAN-BAMBER, N.G.; WOOD, A.W. Estimating the risk associated with drying-off strategies for irrigated sugarcane before harvest. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.50, p.65-77, 1999.
- RODRIGUES, F.A.; LAIA, M.L.; ZINGARETTI, S.M. Analysis of gene expression profiles under water stress in tolerant and sensitive sugarcane plants. **Plant Science**, v.176, p.286-302, 2009.
- SALIENDRA, N.Z.; MEINZER, F.C.; PERRY, M.; THOM, M. Associations between partitioning of carboxylase activity and bundle sheath leakiness to CO₂, carbon isotope discrimination, photosynthesis, and growth in sugarcane. **Journal of Experimental Botany**, v.47, p.907-914, 1996.
- SILVA, A.L.C. da; COSTA, W.A.J.M. de. Varietal variation in growth, physiology and yield of sugarcane under two contrasting water regimes. **Tropical Agricultural Research**, v.16, p.1-12, 2004.
- SILVA, M. de A.; SOARES, R.A.B.; LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia**, v.67, p.656-661, 2008.
- SINGELS, A.; DONALDSON, R.A.; SMIT, M.A. Improving biomass production and partitioning in sugarcane: theory and practice. **Field Crops Research**, v.92, p.291-303, 2005.
- SMIT, M.A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v.98, p.91-97, 2006.
- YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought and stress tolerance. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, special issue, p.187-206, 2003.

Recebido em 8 de junho de 2009 e aprovado em 26 de novembro de 2009