



DÉFICIT HÍDRICO NO DESENVOLVIMENTO DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR

Juliana Lopes Souza^{1*}, Ricardo Barbosa dos Santos¹, Valdinete Vieira Nunes¹, Maria Fernanda Oliveira Torres¹, Crislaine Costa Calazans¹, Luiz Fernando Ganassali Oliveira Junior¹, Renata Silva-Mann¹

Resumo: Esse trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o comportamento das cultivares RB 855536 e RB 93509 de cana-de-açúcar quanto à restrição hídrica durante os primeiros estádios de desenvolvimento. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em blocos ao acaso em esquema fatorial 2x4, com duas cultivares e quatro níveis de água no solo com base na capacidade de campo (100% Cc, 80% Cc, 60% Cc e 40% Cc), com quatro repetições, e cada repetição constituída por uma planta. Foram avaliados: emissão de fluorescência inicial (F0), fluorescência máxima (Fm), rendimento quântico do fotossistema (Fv/Fm), fluorescência transiente OJIP, índices de pigmentos fotossintetizantes e teores de prolina determinados na folha mais alta com colarinho visível. Os níveis de emissão de fluorescência e os índices de pigmentos fotossintéticos foram reduzidos com o aumento da restrição hídrica em ambas cultivares. A cultivar RB 93509 acumulou maior teor de prolina a 60% da Cc. Com o aumento do estresse de restrição hídrica houve redução total nos níveis de fluorescência da clorofila e nos índices de pigmentos fotossintéticos ao sétimo dia em ambas cultivares. A cultivar RB 93509 é mais sensível ao estresse hídrico que a cultivar RB 855536.

Palavras-chave: *Sacharum* spp., prolina, estresse hídrico, fluorescência da clorofila, cultivar

WATER DEFICIT ON THE DEVELOPMENT OF SUGARCANE VARIETIES

Abstract: This study aimed to evaluate the performance of sugarcane cultivars RB 855536 and RB 93509 under water restriction conditions during the first stages of development. The experiment was carried out in greenhouse at the Department of Agronomic Engineering at UFS in randomized blocks in factorial 2x4 scheme, with two cultivars (RB 855536 and RB 93509) and four levels of water in the soil based on soil capacity (100% Cc, 80% Cc, 60% Cc and 40% Cc), with four replicates, each replicate consisting of a plant. The variables evaluated were the initial fluorescence emission (F0), maximum fluorescence (Fm), the quantum yield of photosystem (Fv/Fm), and fluorescence transient OJIP, indexes of photosynthetic pigments and proline content were determined in leaves +1. The fluorescence emission levels and rates of photosynthetic pigments decreased with the increase of water restriction in both cultivars. The cultivar RB 93509 accumulated higher proline content at 60% of Cc. With the increase of severe stress by water restriction occur reduction in total levels of chlorophyll fluorescence and photosynthetic pigment from the seventh day of stress in both varieties of cane sugar. The cultivar RB 93-509 presents higher sensitivity to hydric stress than the cultivar RB 855536.

Keywords: *Sacharum* spp., proline, drought stress, chlorophyll fluorescence, cultivar

¹ Universidade Federal de Sergipe. *E-mail: juliana_lopes_souza@live.com. Autor para correspondência.

Recebido em: 03/01/2020. Aprovado em: 11/05/2020.

INTRODUÇÃO

As expansões para áreas de cultivo de cana-de-açúcar são baseadas no aumento da produção de etanol para o atendimento ao mercado interno (ALKIMIM; SPAROVEK; CLARKE, 2015), bem como a produção de energia do bagaço e a produção de aguardente. Entretanto, em algumas regiões, os períodos de seca limitam a produção. No Nordeste há má distribuição e redução do volume de chuvas, além da dificuldade no estabelecimento das plantas em campo, proporciona mortalidade da socaria forçando uma renovação precoce dos canaviais, aumentando-se os custos de produção (CUENCA; DOMPIERI, 2016).

A seca constitui uma das limitações para a sustentabilidade da produção agrícola mundial, pois afeta um número variado de características morfológicas e fisiológicas das plantas, sendo seus efeitos sobre as culturas agrícolas dependentes da natureza e fase fenológica do material genético vegetal, da intensidade e duração da deficiência hídrica (PANDEY; RAMEGOWDA; SENTHIL-KUMAR, 2015)

Na cana-de-açúcar, a restrição hídrica afeta o desenvolvimento foliar, ou seja, da área fotossinteticamente ativa, diminuindo a absorção da radiação solar, provocando reduções na produção e emissão de folhas e brotações, aceleração do processo de

senescência foliar e reduções no crescimento e no acúmulo de matéria seca nos colmos (OLIVEIRA et al., 2016; OLIVEIRA; BRAGA; WALKER, 2015; SILVA et al., 2015).

Assim, a depender da cultivar, da fase fenológica e do nível de restrição hídrica pode-se ter um desempenho diferenciado nas taxas fotossintéticas dos materiais vegetais analisados. Estas constatações foram identificadas em diferentes genótipos de cana-de-açúcar avaliados na fase de formação (90 a 117 dias) sob restrição hídrica, que apresentaram reduções de 81,70 e 77,43% na produção de biomassa fresca e seca (WAGIH; MUSA, 2003; HOANG et al., 2015). Estima-se que reduções de até 35% na produção da fitomassa sejam causadas pela restrição hídrica (MACHADO et al., 2009).

Uma forma de se avaliar a tolerância de cultivares à restrição hídrica é por meio da análise da prolina, resposta de plantas ao baixo potencial de água (cw) que ocorre durante o estresse hídrico e inclui mudanças em níveis e rota metabólica específica do aminoácido prolina (KAUR; ASTHIR, 2015). Em muitas espécies de plantas, incluindo *Arabidopsis* (*Arabidopsis thaliana* L.), o acúmulo de prolina é a principal resposta ao estresse abiótico. Altos níveis de acúmulo de prolina são tipicamente vistos em resposta ao baixo cw com baixos níveis em resposta a salinidade ou frio (KAUR; ASTHIR, 2015,

2017). Observações ecofisiológicas têm sido sugeridas primordiais na adaptação às condições de seca.

A avaliação dos danos promovidos pela restrição hídrica sobre o aparato fotossintético é essencial para compreensão dos efeitos da seca sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas. O uso da fluorescência da clorofila *a* é um método não destrutivo, qualitativo e quantitativo da absorção e aproveitamento da energia luminosa pelo fotossistema II e das relações com a capacidade fotossintética. O rendimento da fluorescência da clorofila fornece subsídios para estimar a inibição ou o dano no processo de transferência de elétrons do fotossistema II (PSII) (KALAJI et al., 2016).

Assim, este trabalho foi realizado visando avaliar o desempenho das cultivares RB 855536 e RB 93509 de cana-de-açúcar quanto à fotossíntese e teores de prolina durante o crescimento inicial quando submetidas à restrição hídrica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, empregando o delineamento experimental em blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 4, com duas cultivares (RB 855536 e RB 93509) e quatro níveis de água no solo com base na capacidade de

campo (100% Cc, 80% Cc, 60% Cc e 40% Cc), com quatro repetições.

Os parâmetros avaliados foram: fluorescência da clorofila *a* (fluorescência inicial (F0), fluorescência máxima (Fm), rendimento quântico do fotossistema (Fv/Fm) e fluorescência transiente (OJIP); os índices de pigmentos fotossintéticos (clorofilas *a*, *b* e totais); e os teores de prolina.

O solo utilizado, pertencente à classe Argissolo, foi peneirado (aro 55) e em seguida, retirada amostra de 500 g para análise granulométrica e química: pH em H₂O = 5,7; M.O. = 10,30 gdm⁻³; P res. = 23 mgdm⁻³; K = 0,10; Ca = 1,08; Mg = 0,29; H + Al = 2,23; SB = 1,57; CTC = 3,80 (cmol_cdm⁻³); V (%) = 41,3; Areia = 84,14%; Argila = 6,70%; Silte = 9,16%; Classe textural areia franca.

A calagem do solo foi realizada com adição de calcário dolomítico (1 ton ha⁻¹ PRNT = 76). Na preparação do solo, para a montagem do experimento, empregou-se 60 Kg ha⁻¹ de N, 50 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 90 Kg ha⁻¹ de K₂O como fonte primária desses nutrientes: a ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio. A quantidade utilizada foi baseada na análise química do solo.

A capacidade de campo (Cc) foi estimada por curva de retenção de umidade (RICHARDS; FIREMAN, 1943) e funis de placa porosa, com ponto de tensão para 10 KPa (BERNARDO, 1995).

As mudas de cana-de-açúcar foram obtidas a partir de rebolos com única gema. Após 30 dias foram transplantadas para vasos de 18 dm³ de solo, adubado e mantido em Cc por 43 dias. Após este período, a irrigação foi suspendida de modo a manter a Cc referente a cada tratamento.

As condições ambientais de temperatura média e umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação foram monitoradas diariamente com auxílio de termohigrômetro.

A emissão da fluorescência da clorofila *a* foi mensurada com fluorômetro portátil (OS-30P - ADC BioScientific Ltd. UK) obtendo-se fluorescência inicial (F0), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv) e rendimento quântico máximo do fotossistema II (PSII) pela relação Fv/Fm além dos parâmetros do teste OJIP.

As leituras foram realizadas durante sete dias, a cada dois dias, entre 10-12 h da manhã. Foram fixados dois cliques na porção mediana da folha mais alta com colarinho visível, após adaptação da área foliar ao

escuro por 30 minutos em um dos lados do limbo foliar, evitando-se a nervura central, sendo um clipe destinado para fluorescência (F0, FM e Fv/Fm) e o outro para o teste OJIP.

Os índices de clorofila *a*, *b* e totais foram obtidos em Clorofilog (Modelo CFL 1030) no mesmo período de determinação da fluorescência da clorofila *a* de leitura no terço médio do limbo foliar.

Os teores de prolina livre foram determinados mantendo as folhas em caixa de isopor com gelo e após levadas ao laboratório, onde foram mantidas em freezer (-20°C). Amostras foram tratadas segundo metodologia de Bates et al. (1973).

Os dados foram submetidos a análise de variância e regressão polinomial ao nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A queda no índice de clorofila *a* foi observada para ‘RB 93509’ a partir do terceiro dia de estresse (40% Cc), enquanto para ‘RB 855536’ houve redução no sétimo dia de restrição hídrica (Figura 1).

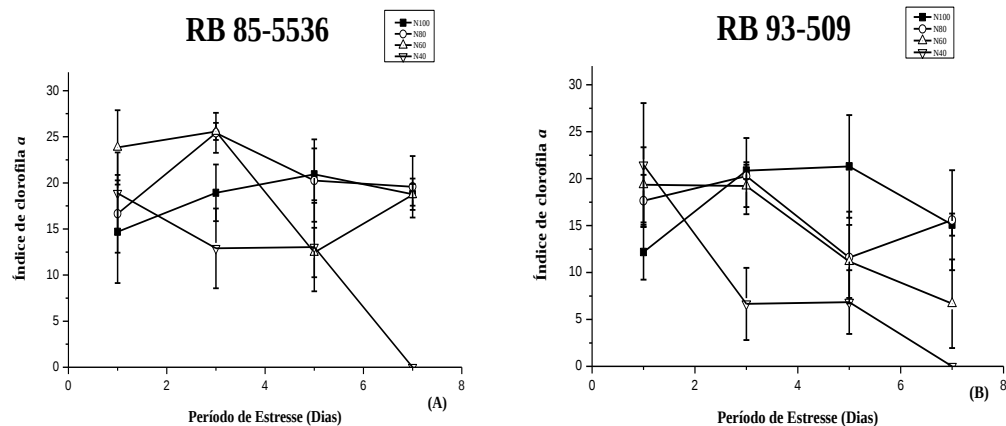


Figura 1. Índice de clorofila *a* em folhas das cultivares RB 93509 e RB 855536 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes déficits hídricos.

Os índices de clorofila *b* apresentaram reduções a partir do terceiro dia de tratamento em ambas cultivares (40% Cc), sendo observada redução de 81,25% para 'RB 93509' e de 50% para 'RB 855536' (Figura 2).

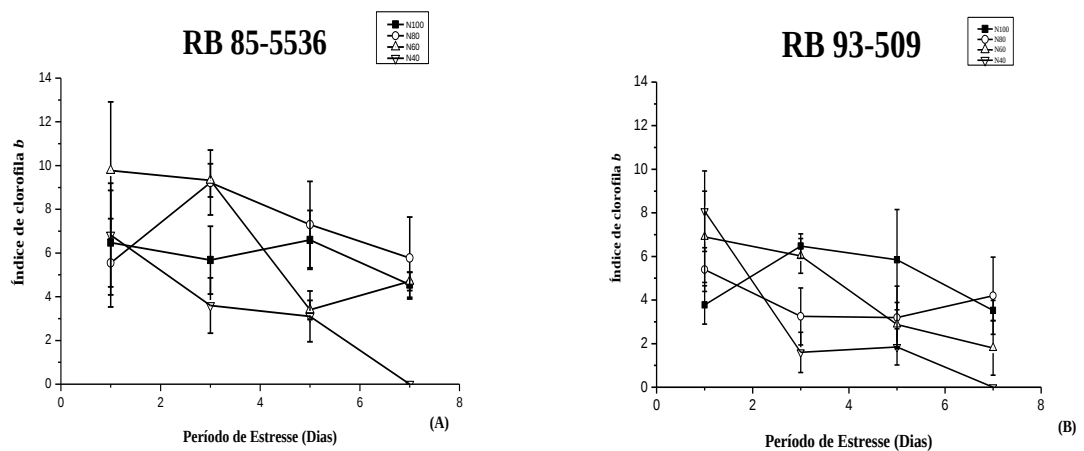


Figura 2. Índice de clorofila *b* em folhas das cultivares RB 93509 e RB 855536 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes déficits hídricos.

No terceiro dia de restrição hídrica pigmentos totais foram observadas para 'RB 93509' com redução de 75%; enquanto para 'RB 855536' observou-se 47% de redução porém, as maiores quedas nos índices de (Figura 3).

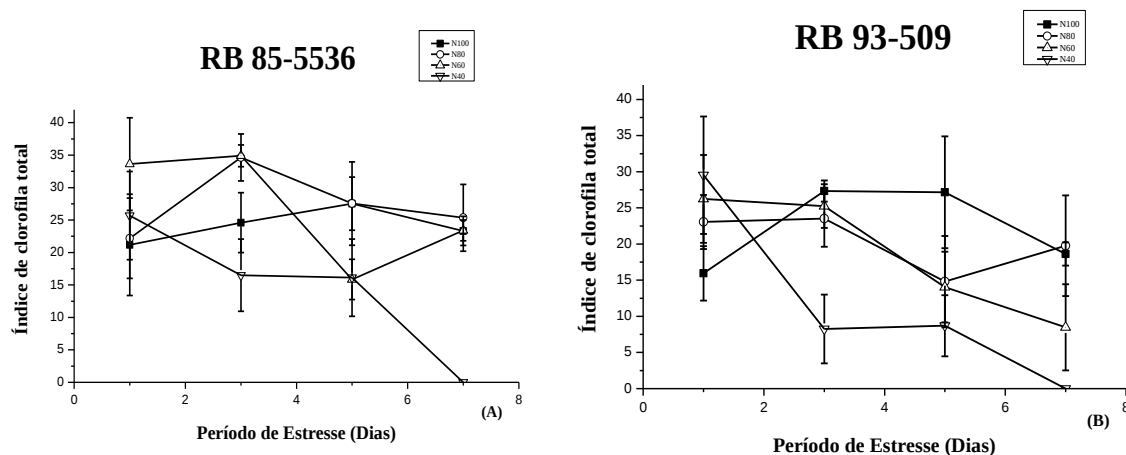


Figura 3. Índice de clorofila total em folhas das cultivares RB 93509 e RB 855536 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes déficits hídricos.

Esse comportamento foi observado em cana-de-açúcar submetida aos níveis de restrição hídrica por estresse osmótico, com aumento da severidade do estresse e crescimento das taxas de degradação de pigmentos fotossintéticos, e essa degradação apresentou relação direta e crescimento linear com a severidade do estresse (CHA-UM; KIRDMANEE, 2008).

A degradação dos pigmentos fotossintéticos com o estresse, pode estar correlacionada com o acúmulo de espécies reativas de oxigênio responsáveis pelo estresse oxidativo (NXELE; KLEIN; NDIMBA, 2017). Essas espécies reativas de

oxigênio são responsáveis pela degradação das membranas dos tilacóides nos cloroplastos, por meio da peroxidação de seus lipídeos (FOYER, 2018; POTTOSIN; SHABALA, 2016).

A fluorescência da clorofila *a* sofreu redução à medida que o período de estresse avançava. Com relação à F0, em ambas cultivares observou-se reduções significativas com o estresse, sendo constatada uma tendência de redução a partir do terceiro dia (Figura 4).

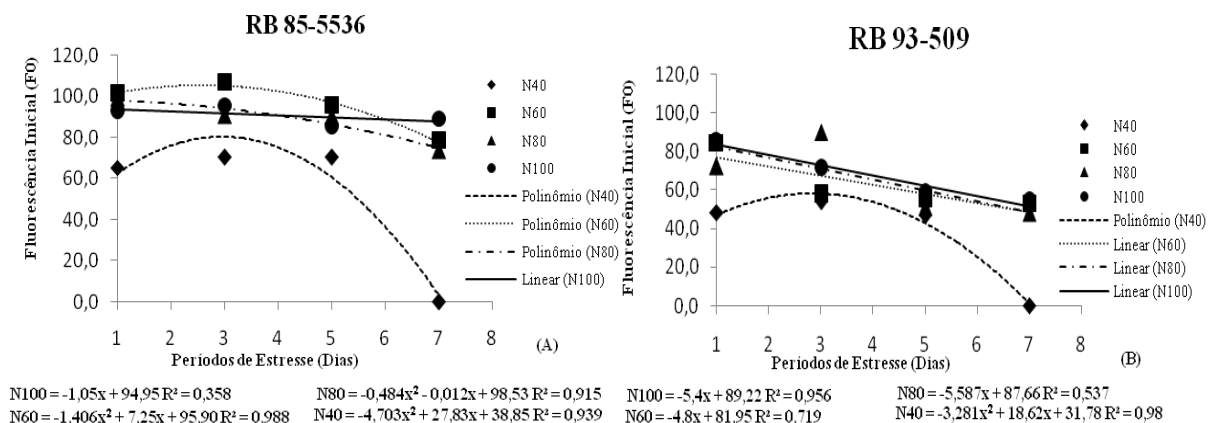


Figura 4. Fluorescência inicial (F0) das cultivares RB 93509 e RB 85536 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes déficits hídricos.

A ocorrência de danos no centro de reação FSII ocasiona a redução da fluorescência da clorofila *a*. Com o estresse hídrico ocorrem danos no centro de reação do fotossistema, que podem limitar a transferência do fluxo energético do complexo antena provocando reduções em F0 (SILVA et al., 2014).

Os níveis de FM apresentam-se reduzidos com estresse para ambas cultivares, porém, em 'RB 93-509' essas reduções foram significativas a 80, 60 e 40% Cc, enquanto para 'RB 85-5536' apenas a 40% Cc houve tendência de queda no terceiro dia (Figura 5).

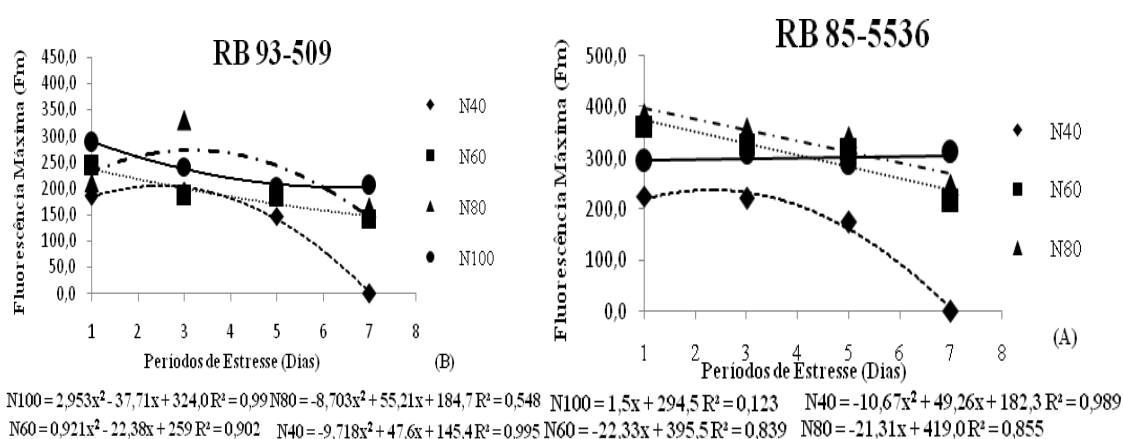


Figura 5. Valores da fluorescência máxima (FM) das cultivares RB 93509 e RB 85536 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes déficits hídricos.

As reduções observadas nos níveis de FM para ‘RB 93509’ pode revelar a sensibilidade dessa cultivar à restrição hídrica durante o crescimento inicial, pois, se observa um comprometimento do fluxo de elétrons entre os fotossistemas I e II limitando a atividade fotossintética resultando em baixas de energia indispensável ao metabolismo de tolerância ao estresse.

Os baixos valores de FM encontrados em ambas cultivares podem estar relacionados com o aumento das taxas de

degradação das proteínas D1 com o avanço da restrição hídrica sob ação das espécies reativas de oxigênio (NELSON; MILLAR, 2015).

Para o rendimento quântico do fotossistema (FV/FM) observou-se redução para 40% Cc em ambas cultivares, sendo verificada tendência de queda a partir do terceiro dia (Figura 6). Estas reduções podem estar correlacionadas com a destruição do centro de reação do fotossistema, sendo esse comportamento mais evidente ao sétimo dia de estresse.

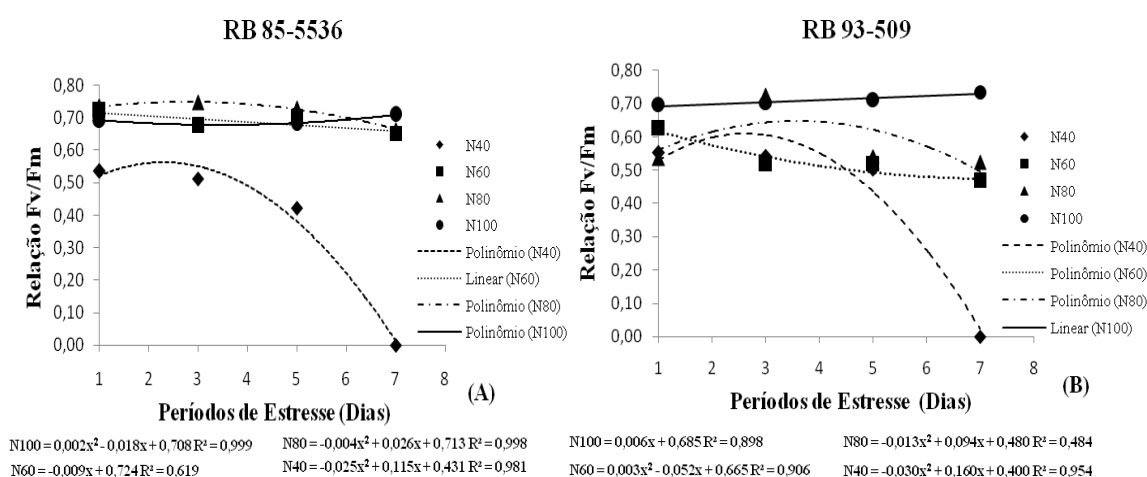


Figura 6. Valores da relação Fv/Fm nas cultivares RB 93509 e RB 855536 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes déficits hídricos.

Em uma situação de estresse hídrico a difusão de carbono no interior da célula do tecido vegetal é limitada em virtude do fechamento parcial dos estômatos, funcionando o dióxido de carbono, como um acepor final da energia transferida do fluxo de elétrons da cadeia transportadora entre os fotossistemas. Com os teores baixos dessa

substância no interior das células, possivelmente há transferência da energia do fluxo de elétrons para o oxigênio produzido a partir da quebra das moléculas de água no complexo de evolução de oxigênio, assim, espécies reativas de oxigênio teriam suas taxas aumentadas (NAZAR et al., 2015)

criando oportunidade para a ocorrência de danos oxidativos.

Esse comportamento foi observado em plantas de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico a partir do sexto dia de estresse (MOLINARI, 2007). Maiores quedas desse parâmetro foram verificadas no nível de estresse mais severo em diferentes cultivares de cana-de-açúcar (GONÇALVES et al., 2010).

Com relação à OJIP, 'RB 855536' e 'RB 93-509' exibiram típica curva, tanto no

início quanto no final do período de estresse hídrico. No início do período de estresse não foram observadas reduções distintas em OJIP para 'RB 855536', entretanto, comportamento diferenciado foi observado para 'RB 93509', que apresentou maior intensidade de emissão de fluorescência em seu nível máximo (P) a 80% Cc em relação aos demais níveis (Figura 7).

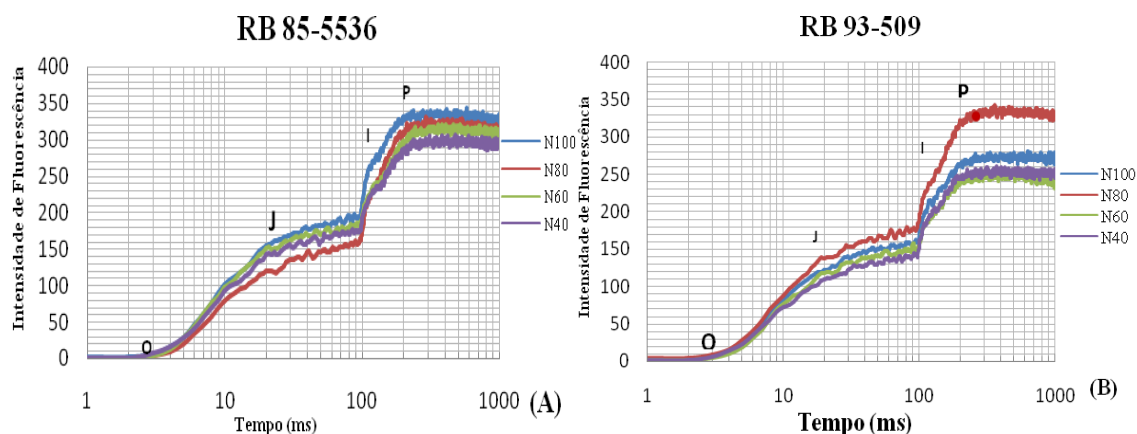


Figura 7. Fluorescência transiente da clorofila a no período inicial de déficit hídrico nas cultivares RB 93509 e RB 855536 de cana-de-açúcar.

Esses resultados podem ser reduções distintas para níveis de estresse, justificados pelo estresse de sete dias para a emissão de fluorescência em seu nível máximo (P) para 'RB 93-509' com 80% Cc (Figura 8). As cultivares apresentaram

porém, com reduções acentuadas para 'RB 93509' ao nível de 60% Cc e nulidade de intensidade de fluorescência ao nível de estresse mais severo.

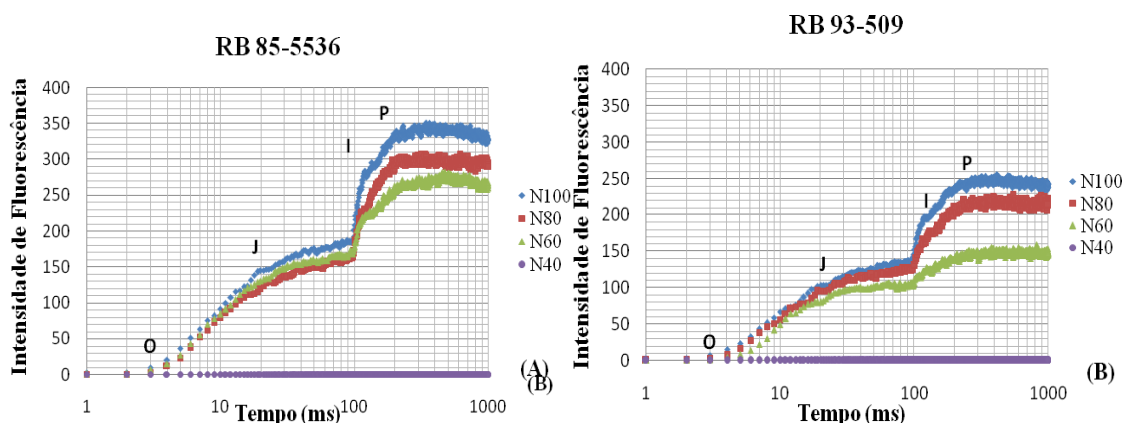


Figura 8. Fluorescência transiente da clorofila *a* nas cultivares RB 93509 e RB 85536 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes déficits hídricos.

A ocorrência de reduções distintas nas curvas polifásicas da OJIP para os níveis de Cc, podem estar relacionadas a ausência de danos no complexo de evolução de oxigênio, ao passo que as reduções encontradas ao final do período de estresse estariam associadas ao surgimento de danos nesse complexo.

O nível *O* da curva polifásica da OJIP representa a mínima produção de fluorescência quando todas as moléculas de quinona A estão no estado oxidável. Com a continuidade do fluxo de elétrons do centro de reação para quinona A com elevações na intensidade de emissão levam as fases *J*, *I* e a etapa *P* que corresponde ao estado no qual todas as moléculas de quinona A se encontram reduzidas resultando na máxima produção de fluorescência. A elevação da fase *O* para a fase *J* é produzida a partir da redução da quinona A e está associada com a redução fotoquímica primária do fotossistema

II (KALAJI et al., 2016; FALQUETO et al., 2017).

Dessa forma, essa fase *O-J* é influenciada diretamente pelo funcionamento do complexo de evolução de oxigênio. Assim, as reduções encontradas podem ser explicadas por um desequilíbrio entre o fluxo eletrônico saído do centro de reação do fotossistema para os aceptores e o fluxo de elétrons, nesse sentido, as reduções da intensidade da fluorescência observadas no ponto *P* para 80% e 60% Cc nas cultivares, estão relacionadas com a presença de quinona A (QA) não reduzida, pois em seu estado oxidável esseceptor de elétrons funciona como um supressor de fluorescência (KALAJI et al., 2016).

A queda definitiva no nível *P* indica perda de atividade do complexo de evolução de oxigênio em resposta ao aumento do estresse hídrico. Quedas nas curvas da OJIP foram observadas em *Plectranthus*

scutellarioides em níveis de estresse hídrico severo (MENG et al., 2016).

Com relação aos teores de prolina acumulada observou-se que ‘RB 93-509’ acumulou este osmoprotetor para 60% Cc; enquanto que ‘RB 855536’ houve maiores

acúmulos de prolina a 60 e 40%. Foi observado a ocorrência de acúmulos de prolina a 100, 80 e 60% Cc para ‘RB 93509’, enquanto para ‘RB 855536’ houve maior acúmulo nos níveis mais severos (Tabela 1).

Tabela 1. Teores de prolina livre em folhas nas cultivares RB 93509 e RB 855536 de cana-de-açúcar submetidas a diferentes déficits hídricos.

Cultivar	Níveis de água no solo (% Cc)			
	100	80	60	40
Teor de prolina (μgg^{-1} de matéria fresca)				
RB 855536	0,43 bB	8,71 bB	59,14 aB	64,50 aA
RB 93509	27,11 bA	32,36 bA	152,23 aA	17,58 bB
CV (%)	29,57			

Valores seguidos das mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Scott-Knott.

Os níveis de prolina livre variam nos diferentes órgãos vegetais, sendo a capacidade de acúmulo e concentração deste decrescente com o amadurecimento e idade da folha (KAUR; ASTHIR, 2015), assim, espera-se que em folhas mais jovens maiores teores que as encontradas nas mais velhas, como observado em cana-de-açúcar micropropagadas submetidas ao estresse osmótico por manitol (CHA-UM; KIRDMANEE, 2008).

O acúmulo de prolina em tecidos sob estresse hídrico tem variações quantitativas quanto ao material genético testado, podendo revelar tentativa de adaptação ao estresse.

Cultivares tolerantes, tendem a apresentar grande acúmulo desse osmorregulador favorecendo o ajuste osmótico de suas células assegurando o processo fotossintético e mantendo altos índices de produção, mesmo em condições estressantes quando comparadas a cultivares susceptíveis (OLIVEIRA et al., 2018).

Ao analisar aumentos em prolina para cada cultivar, foi observado um crescimento linear para ‘RB 855536’ em detrimento da diminuição dos níveis de Cc (Figura 9).

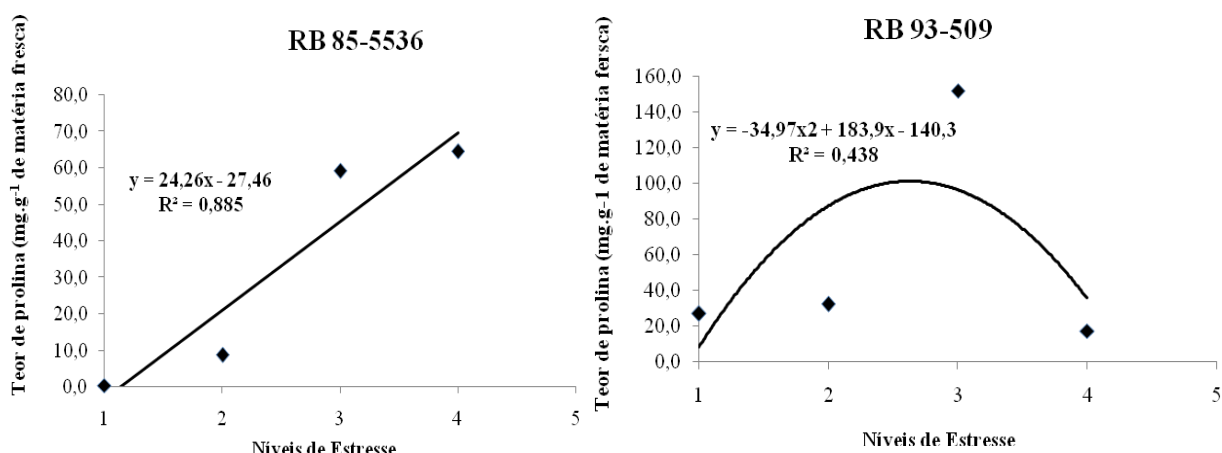


Figura 9. Teor de prolina acumulada nas folhas da cultivar RB 855536 e RB 93509 sob diferentes níveis de estresse hídrico (1=100%Cc, 2= 80%Cc, 3=60% Cc e 4=40% Cc).

O resultado observado está de acordo com os encontrados para cultivar IAC 915111, tolerante ao estresse hídrico, sendo os maiores acúmulos de prolina nos níveis de estresse mais severo (QUEIROZ et al., 2008). Comportamento semelhante foi encontrado para ‘RB 72454’ e ‘SP 801816’, com crescimento linear no acúmulo de prolina com a restrição hídrica (GUIMARÃES et al., 2008).

Em ‘RB 93509’ os níveis de prolina aumentaram significativamente com a restrição de água, porém a partir do nível de 60% Cc foi observada queda nos teores de prolina (Figura 9).

Comportamento similar foi observado para cana-de-açúcar aclimatizada sob condições de seca por diferentes concentrações de manitol durante sete dias, sendo observado crescimento gradativo para os teores de prolina atingindo pico máximo de 300 mM de manitol. Porém, uma drástica

redução também foi observada para os teores de prolina imposta pelo estresse atingido em 400 mM (CHA-UM; KIRDMANEE, 2008).

A redução observada no teor de prolina para ‘RB 93509’ nesse nível de estresse pode estar associada à degradação desse osmorregulador pela atuação da enzima prolina oxidase. Essa enzima é encontrada nas mitocôndrias do tecido vegetal e diferentemente da prolina desidrogenase, que utiliza o NADPH como aceptor de elétrons, esta utiliza O₂ como aceptor de elétrons para ativação de sua atividade (KAUR; ASTHIR, 2015).

CONCLUSÕES

O aumento do déficit hídrico promove redução total nos níveis de fluorescência da clorofila e índices de pigmentos fotossintéticos ao sétimo dia de restrição hídrica para ‘RB 93509’ e ‘RB 855536’;

A cultivar RB 93509 apresenta maior sensibilidade ao déficit hídrico que a cultivar RB 855536.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela concessão de bolsa pós-graduação ao primeiro autor, a RIDESA pela cessão do material biológico, a FINEP (Convênio 01.09.0335.00) pelo suporte financeiro, e ao Laboratório de Ecofisiologia da EMBRAPA – Tabuleiros Costeiros pelo suporte em estrutura para a realização das análises fisiológicas sob supervisão dos pesquisadores Dr. Edson Eduardo Melo Passos e Dr. Fernando Luis Dultra Cintra.

REFERÊNCIAS

- ALKIMIM, A.; SPAROVEK, G.; CLARKE, K. C. Converting Brazil's pastures to cropland: An alternative way to meet sugarcane demand and to spare forestlands. **Applied Geography**, v. 62, n. 2015, p. 75–84, 2015.
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205–207, 1973.
- BERNARDO, A. N. **Manual de irrigação**. 6 ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária. 1995. 657 p.
- CHA-UM, S.; KIRDMANEE, C. Effect of osmotic stress on proline accumulation, photosynthetic abilities and growth of sugarcane plantlets. **Pakistan Journal of Botany**, v. 40, n. 6, p. 2541–2552, 2008.
- CUENCA, G. M. A.; DOMPIERI, M. H. G. Dinâmica espacial da canavicultura e análise dos efeitos sobre o valor bruto da produção, na região dos tabuleiros costeiros da Paraíba, Pernambuco e Alagoas. **Rev. Econ. NE**, v. 47, n. 4, p. 91–106, 2016.
- FALQUETO, A. R.; SILVA JÚNIOR, R. A. da; GOMES, M. T. G.; MARTINS, J. P. R.; SILVA, D. M.; PARTELLI, F. L. Effects of drought stress on chlorophyll a fluorescence in two rubber tree clones. **Scientia Horticulturae**, v. 224, n. September 2016, p. 238–243, 2017.
- FOYER, C. H. Reactive oxygen species, oxidative signaling and the regulation of photosynthesis. **Environmental and Experimental Botany**, v. 154, n. April, p. 134–142, 2018.
- GUIMARÃES, E. R.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R.; FERRO, I. T.; RAVANELI, G. C.; SILVA, J. A. da. Free proline accumulation in sugarcane under water restriction and spittlebug infestation. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 6, p. 628–633, 2008.
- GONÇALVES, E.R. FERREIRA, V.M.; SILVA, J.V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T.P.; DUARTE, W.G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p.378–386, 2010.
- HOANG, N. V.; FURTADO, A.; BOTH, F. C.; SIMMONS, B. A.; HENRY, R. J. Potential for genetic improvement of sugarcane as a source of biomass for biofuels. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 3, n. NOV, p. 1–15, 2015.
- KALAJI, H. M.; JAJOO, A.; OUKARROUM, A.; BRESTIC, M.; ZIVCAK, M.; SAMBORSKA, I. A.; CETNER, M. D.; LUKASIK, I.; GOLTSEV, V.; LADLE, R. J. Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 38, n. 4, 2016.
- KAUR, G.; ASTHIR, B. Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance. **Biologia Plantarum**, v. 59, n. 4, p. 609–619, 2015.
- KAUR, G.; ASTHIR, B. Molecular responses to drought stress in plants. **Biologia Plantarum**, v. 61, n. 2, p. 201–209, 2017.

- MACHADO, R.S.; RIBEIRO, R.V.; MARCHIORI, P.E.R.; MACHADO, D.F.S.P.; MACHADO, E.C.; LANDELL, M.G.A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, dezembro, 2009.
- MENG, L. L.; SONG, J. -F; WEN, J.; ZHANG, J.; WEI, J. -H. Effects of drought stress on fluorescence characteristics of photosystem II in leaves of *Plectranthus scutellarioides*. **Photosynthetica**, v. 54, p. 414-421, 2016.
- MOLINARI, H.B.C.; MARUR, C.J.; DAROS, E.; CAMPOS, M.K.F.; CARVALHO, J.F.R.P.; BESPALHOK-FILHO, J.C.; PEREIRA, L.F.P.; VIEIRA, L.G.E. Evaluation of the stress-induced production of proline in transgenic sugarcane (*Saccharum* spp.): osmotic adjustment, chlorophyll fluorescence and oxidative stress. **Physiologia Plantarum**, v. 130, p. 218-229, 2007.
- NAZAR, R.; UMAR, S; KHAN, N. A; SAREER, O. Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. **South African Journal of Botany**, v. 98, p. 84-94, 2015.
- NELSON, C. J.; MILLAR, A. H. Protein turnover in plant biology. **Nature Plants**, v. 1, n. March, p. 1-7, 2015.
- NXELE, X.; KLEIN, A.; NDIRIMBA, B. K. Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. **South African Journal of Botany**, v. 108, p. 261-266, 2017.
- OLIVEIRA, A. R. DE et al. Cana-De-Açúcar sob diferentes reposições hídricas no Vale do Submédio São Francisco. **Energia na Agricultura**, v. 31, p. 48-58, 2016.
- OLIVEIRA, A. R. DE; BRAGA, M. B.; WALKER, A. M. Comportamento vegetativo e qualidade tecnológica de cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico em condições semiáridas do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, p. 525-541, 2015.
- OLIVEIRA, L. A. R. de; CARDOSO, M. N.; OLIVEIRA, A. C. A. de; MACHADO, C. de A.; CARDOSO, B. T.; SILVA, A. V. C. da; LEDO, A. da S. Effects of in vitro Drought Stress on Growth, Proline Accumulation and Antioxidant Defense in Sugarcane. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 5, p. 135, 2018.
- PANDEY, P.; RAMEGOWDA, V.; SENTHIL-KUMAR, M. Shared and unique responses of plants to multiple individual stresses and stress combinations: physiological and molecular mechanisms. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, n. September, p. 1-14, 2015.
- POTTOSIN, I.; SHABALA, S. Transport Across Chloroplast Membranes: Optimizing Photosynthesis for Adverse Environmental Conditions. **Molecular Plant**, v. 9, n. 3, p. 356-370, 2016.
- QUEIROZ, R.J.B.; SANTOS, D.M.M.; CARLIN, S.D.; MARIN, A.; BANZATTO, D.A.; CAZETTA, J.O. Osmoprotetores em cana-de-açúcar sob efeito da disponibilidade hídrica do solo. **Científica**, v. 36, n. 2, p. 107-115, 2008.
- RICHARDS, L. A.; FIREMAN, M. Pressure-plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. **Soil Science**, v.56, p.395-404. 1943.
- SILVA, M. de A.; JIFON, J. L.; SILVA, J. A. G. da; SANTOS, C. M. dos; SHARMA, V. Relationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water deficit. **Journal of Agricultural Science**, v. 152, n. 1, p. 104-118, 2014.
- SILVA, S.; NETO, J. D.; TEODORO, I.; SOUZA, J. L. de; LYRA, G. B.; SANTOS M. A. L. dos. Demanda hídrica da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 9, p. 849-856, 2015.
- VERSLUES, P. E.; SHARMA, S. Proline Metabolism and Its Implications for Plant-Environment Interaction. **The Arabidopsis**

Book, v. 8, p. e0140, 2010.

WAGIH, M.E.; ALA, A.; MUSA, Y.
Biomass analysis and selection of sugarcane
genotypes for drought tolerance. **Sugar Tech**,
v. 5, p. 257-263, 2003.