

FLUORESCENCIA DA CLOROFILA *a* DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB DÉFICIT HÍDRICO

MIRANDY DOS SANTOS DIAS, FRANCISCO DE ASSIS DA SILVA², MARIA DE FÁTIMA CAETANO DA SILVA³, PEDRO DANTAS FERNANDES⁴ e ROBSON FELIPE DE LIMA⁵

¹Doutorando em Engenharia Agrícola, PPGEA/CTRN/UFCG, Campina Grande-PB, mirandysd@gmail.com;

²Dr. em Engenharia Agrícola, Pesquisador PDJ, CNPq, UFCG, Campina Grande-PB, agrofdsilva@gmail.com;

³Doutoranda em Engenharia Agrícola, PPGEA/CTRN/UFCG, fatimaketano@gmail.com;

⁴Dr. em Solos e Nutrição de Plantas, Prof. voluntário PPGEA/CTRN/UFCG, Campina Grande-PB, pedrodantasfernandes@gmail.com;

⁵Doutorando em Engenharia Agrícola, PPGEA/CTRN/UFCG, Campina Grande-PB, robson_felipe88@hotmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
04 a 06 de outubro de 2022

RESUMO: Objetivou-se avaliar os efeitos do déficit hídrico na fase de perfilhamento de genótipos de cana-de-açúcar no segundo ciclo de cultivo sobre a fluorescência da clorofila *a*. A pesquisa foi conduzida em casa de vegetação na Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande (UAEA/UFCG). Os tratamentos resultaram da combinação entre cinco genótipos de cana-de-açúcar (G1 - RB863129; G2 - RB92579; G3 - RB962962; G4 - RB021754; G5 - RB041443) submetidos a duas condições hídricas na fase de perfilhamento da cultura (Controle - irrigação plena e déficit hídrico - 30% do volume de água aplicado nas plantas controle), distribuídos em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 2 com 3 repetições, perfazendo 30 unidades experimentais. Foram avaliados a fluorescência inicial, fluorescência máxima, fluorescência variável e máxima eficiência quântica do fotossistema II. O déficit hídrico na fase de perfilhamento em cana-de-açúcar, aumenta a fluorescência inicial e reduz a fluorescência variável, máxima e a eficiência quântica máxima do fotossistema II.

PALAVRAS-CHAVE: *Saccharum spp.*, manejo da água, eficiência quântica do PSII.

CHLOROPHYLL *a* FLUORESCENCE OF SUGAR CANE GENOTYPES UNDER WATER DEFICIT

ABSTRACT: The objective was to evaluate the effects of water deficit in the tillering phase of sugarcane genotypes in the second cropping cycle on the fluorescence of chlorophyll *a*. The research was conducted in greenhouse at the Agricultural Engineering Academic Unit, Federal University of Campina Grande (UAEA/UFCG). The treatments resulted from the combination of five sugarcane genotypes (G1 - RB863129; G2 - RB92579; G3 - RB962962; G4 - RB021754; G5 - RB041443) submitted to two water conditions in the tillering phase of the crop (Control - irrigation full and water deficit - 30% of the volume of water applied to the control plants), distributed in a randomized block design in a 5 x 2 factorial scheme with 3 replications, totaling 30 experimental units. Initial fluorescence, maximum fluorescence, variable fluorescence and maximum quantum efficiency of photosystem II were evaluated. Initial fluorescence, maximum fluorescence, variable fluorescence and maximum quantum efficiency of photosystem II were evaluated. The water deficit in the tillering phase in sugarcane, increases the initial fluorescence and reduces the variable, maximum fluorescence and the maximum quantum efficiency of photosystem II.

KEYWORDS: *Saccharum spp.*, water management, quantum efficiency of PSII.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas com grande relevância para o agronegócio brasileiro, além da produção de etanol e açúcar, é utilizada para fins versáteis, como a vinhaça, torta de filtro e bagaço, os quais são utilizados na alimentação animal, como fertilizantes e produção de energia (Verma et al., 2021).

Em seu sistema de produção, essa cultura consome entre 1.500 e 2.000 mm de água por ciclo anual (Doorenbos & Kassam, 1979). Na região Nordeste, as condições climáticas constituem fator importante para determinação do rendimento médio dessa cultura, especialmente no quesito pluviosidade, que ocorre e forma irregular, acarretando déficit hídrico.

Tais efeitos induzem a planta ao acúmulo de ácido abscísico (ABA), envolvido no fechamento estomático, reduzindo a fotossíntese e a maioria dos processos de trocas gasosas, que são essenciais para a produção de biomassa (Larcher, 2004). Neste sentido, a avaliação do rendimento da fluorescência da clorofila, pode revelar o nível de excitação dos pigmentos que dirigem a fotossíntese e fornece subsídios para estimar a inibição ou o dano no processo de transferência de elétrons do fotossistema II (Bolhàr-Nordenkampf et al., 1989). Assim, a capacidade de manter alta razão Fv/Fm sob estresse hídrico indica alta eficiência de uso da radiação pelas reações de assimilação de carbono (Silva et al., 2014). Valores inferiores 0,75 da razão Fv/Fm é um indicativo de fotoinibição dos centros de reação do fotossistema II (Maxwel & Johnson, 2000; Bolhàr-Nordenkampf et al., 1989). Isso resulta em redução do acúmulo de açúcar e da biomassa vegetal (Sage et al., 2013). Nesse contexto, objetivou-se avaliar os efeitos do déficit hídrico na fase de perfilhamento de genótipos de cana-de-açúcar no segundo ciclo de cultivo sobre a fluorescência da clorofila *a*.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em condições de casa de vegetação, pertencente a Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, situada no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), com coordenadas geográficas 07° 15' 18" S, 35° 52' 28" O e altitude de 550 m.

Os tratamentos resultaram da combinação entre cinco genótipos de cana-de-açúcar (G1 - RB863129; G2 - RB92579; G3 - RB962962; G4 - RB021754; G5 - RB041443) submetidos a duas condições hídricas na fase de perfilhamento da cultura (irrigação plena e déficit hídrico de 70%, ou seja, as plantas foram irrigadas com apenas 30% do volume de água aplicado nas plantas controle.) Distribuídos em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 2 com 3 repetições, perfazendo 30 unidades experimentais.

As plantas foram cultivadas em vasos de polietileno com capacidade de 40 L, onde receberam uma manta geotêxtil para evitar obstrução do sistema de drenagem e uma mangueira com 10 mm de diâmetro na base acoplada a dois recipientes plástico com capacidade volumétrica de 2,0 L cada, para coleta da água drenada. Os vasos foram preenchidos com 45 dm³ de solo. Posteriormente ao corte da cana-planta, iniciou-se o segundo ciclo de cultivo.

O déficit hídrico teve início aos 24 dias após a rebrota (DAR) por ocasião do início da fase de perfilhamento e perdurou por 15 dias. Antes da diferenciação das lâminas, todas as plantas foram mantidas com umidade de solo próximo ao nível correspondente à capacidade de campo.

As irrigações foram realizadas de forma manual, sempre ao final da tarde. A quantidade de água aplicada nas plantas foi estimada por meio do balanço hídrico, tomando por base os termos da equação: $CH = Va - Vd$, em que: CH - consumo hídrico (mL), Va - volume de água aplicado nos eventos de irrigação anteriores e Vd - volume de água drenado. A lâmina de água a ser aplicada foi estimada a cada 5 dias. Durante o período correspondente a restrição hídrica, as plantas receberam 30% da água referente ao aplicado no tratamento controle.

As adubações foram realizadas conforme a recomendação de Souza et al. (2016), cujas quantidades foram calculadas de acordo com material seco acumulado esperado em cada vaso (equivalente a 1,0 kg de massa de material seco por vaso).

Aos 38 dias após a rebrota DAR, foram avaliados os parâmetros de fluorescência da clorofila *a*, tomando-se como base o terço médio da folha +1 do perfilho principal, com uso de fluorômetro de pulso modulado, modelo OS5p da Opti Science. As avaliações foram em folhas com adaptação da parte do limbo ao escuro por um período de 30 minutos, usando-se um clipe do equipamento, de modo a garantir que todos os aceptores primários estivessem totalmente oxidados (Konrad et al., 2005).

Foram mensuradas a fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv) e máxima eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm).

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e avaliados mediante análise de variância. A comparação entre condição hídrica foi realizada pelo teste F e para genótipos foi aplicado o teste de Tukey ($p \leq 0,05$) com auxílio do programa Sisvar (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fluorescência inicial (Fo), foi influenciada pela interação entre os fatores em estudos (G x CI). Para fluorescência máxima (Fm) e a fluorescência variável (Fv) constatou-se diferença significativa entre genótipos e entre condição hídrica de forma isolada, enquanto que a eficiência quântica máxima do PSII (Fv/Fm) foi influenciada apenas pela condição hídrica (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv) e eficiência quântica máxima do PSII em genótipos de cana-de-açúcar sob déficit hídrico na fase de perfilhamento.

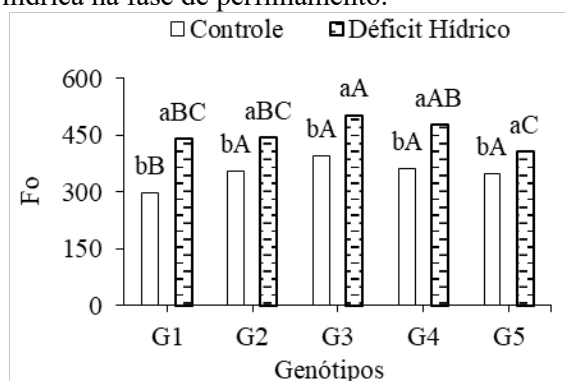
Fonte de Variação	GL	QM			
		Fo	Fm	Fv	Fv/Fm
Bloco	2	634,43 ^{ns}	2554,70 ^{ns}	5300,63 ^{ns}	0,00082 ^{ns}
Genótipos (G)	4	6301,58 ^{**}	39886,38 ^{**}	18988,21 ^{**}	0,00082 ^{b^{ns}}
Condição hídrica (CI)	1	79464,53 ^{**}	115072,13 ^{**}	385786,80 ^{**}	0,0770 ^{**}
Int. G x CI	4	1418,62 [*]	3744,38 ^{ns}	2461,88 ^{ns}	0,00090 ^{ns}
Erro	18	376,47	2125,58	2560,96	0,0003
CV	-	4,81	3,32	5,13	2,57

CV- coeficiente de variação; GL- graus de liberdade; QM- quadrados médios; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) e ns não significativo pelo teste F.

A fluorescência inicial de todos os genótipos de cana-de-açúcar foi elevada quando as plantas foram submetidas a déficit hídrico na fase de perfilhamento, sendo mais pronunciado em RB863129 com aumento de 47,19%, seguido do RB0214754 (32,22%), RB962962 (277,18%), RB92579 (25,35%) e do RB041443 com 17,04% (Figura 1). Dessa forma, o aumento na Fo sob déficit hídrico pode ser resultado de danos no centro de reação do PSII, bem como da redução de transferência da energia do complexo antena para o centro de reação (Baker, 2008; Lima et al., 2019).

Quando comparados os genótipos em função do déficit hídrico, observou-se em RB962962 e RB021754 maiores médias na fluorescência inicial. No entanto no tratamento controle, observou-se que o genótipo RB863129 obteve menor média na fluorescência inicial.

Figura 1. Desdobramento da interação para fluorescência inicial (Fo), em cana-de-açúcar em função do genótipo e da condição hídrica na fase de perfilhamento.

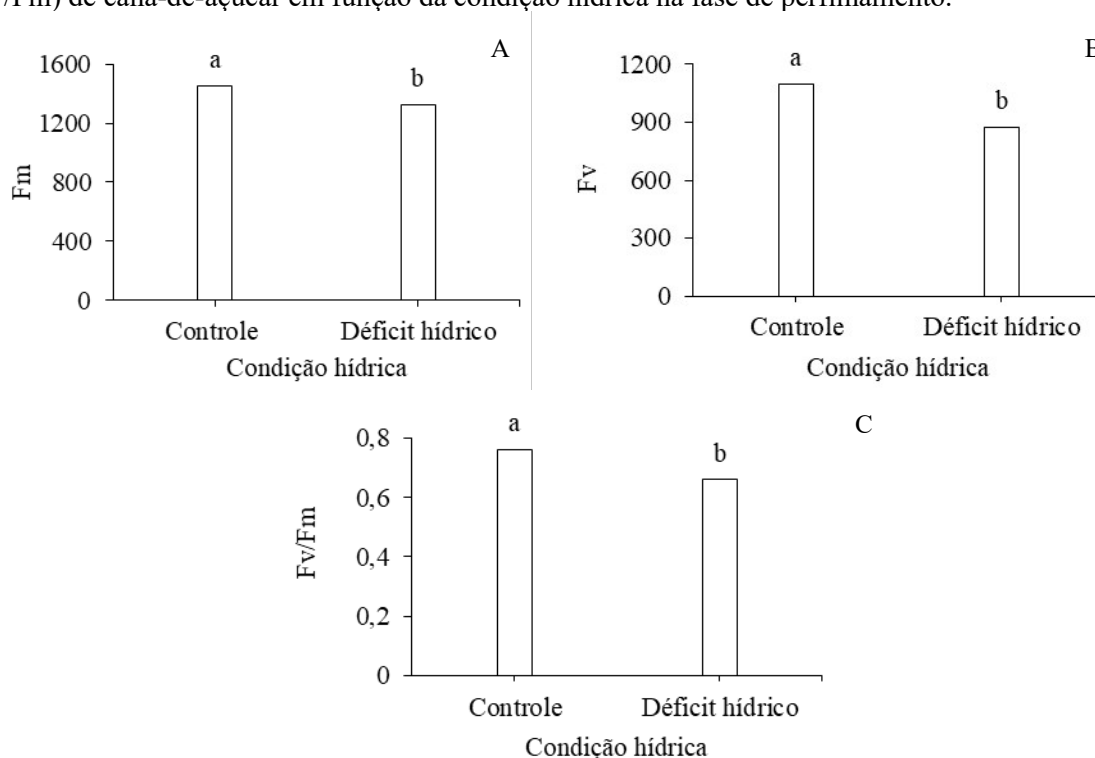


Letras maiúsculas iguais entre genótipos e minúsculas iguais entre lâminas de irrigação são indicativos que não há diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. (G1 - RB863129; G2 - RB92579; G3 - RB962962; G4 - RB021754; G5 - RB041443).

Para fluorescência máxima (F_m) em função da condição hídrica (Figura 2A), observou-se redução de 123,93 elétrons quantum⁻¹ quando as plantas foram submetidas a déficit hídrico, o equivalente a 8,5% quando comparado com as plantas controle.

Em decorrência do aumento da fluorescência inicial e redução da fluorescência máxima quando as plantas de cana-de-açúcar foram submetidas a déficit hídrico, constatou-se redução de 226,8 elétrons quantum⁻¹ na fluorescência variável (F_v), o equivalente a 20,63% quando comparado as plantas do tratamento controle (Figura 2B). Evidenciando que a fluorescência variável está intimamente relacionada à variação de F_o e F_m . Além disso, essa redução pode estar relacionada à deficiência na fotorredução da quinona a , possivelmente devido à inativação do PSII nas membranas dos tilacóides, afetando o fluxo de elétrons entre os fotossistemas, consequentemente menor será a capacidade da planta em transferir energia para a formação de NADPH, ATP e ferredoxina reduzida e, consequentemente, menor capacidade de assimilação do CO_2 na fase bioquímica da fotossíntese (Baker, 2008; Lima et al., 2019).

Figura 2. Fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável e eficiência quântica máxima do PSII (F_v/F_m) de cana-de-açúcar em função da condição hídrica na fase de perfilhamento.

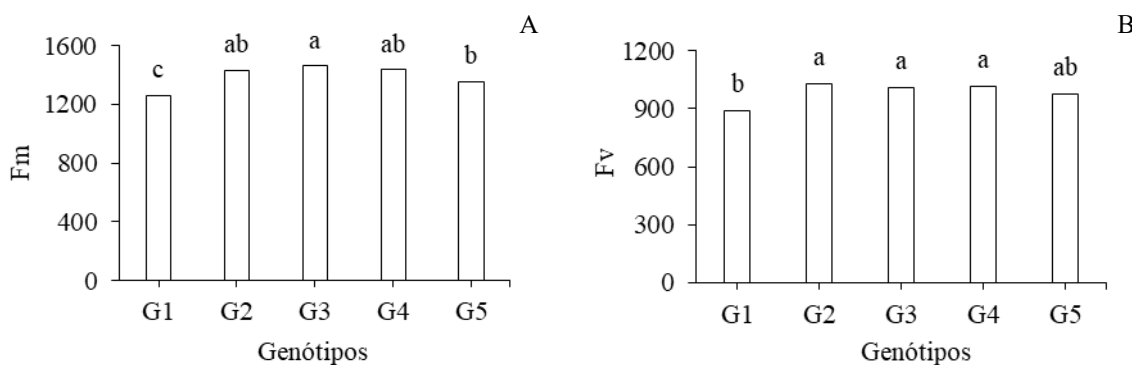


Letras minúsculas iguais entre condição hídrica são indicativos que não há diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A razão F_v/F_m estima a eficiência quântica máxima do PSII, quando todos os centros de reação do PSII estão abertos (Baker, 2008), neste estudo, observou-se que as plantas sob déficit hídrico reduziram 13,15% em relação as plantas controles (Figura 2C). Tal redução provavelmente foi induzida pelas alterações ocorridas na F_o , uma vez que o valor observado em F_v/F_m foi 0,66 elétrons quantum⁻¹. Desse modo, fica evidente que ocorreu dano no PSII desse genótipo, pois, o valor máximo obtido para a razão F_v/F_m ficou abaixo de 0,75 elétrons quantum⁻¹.

Analisando a F_m e F_v entre os genótipos de cana-de-açúcar de forma isolada, as maiores médias, foram registradas em RB92579, RB962962 e RB021754 (Figura 3A e B).

Figura 3. Fluorescência máxima (Fm) e fluorescência variável (Fv) de genótipos de cana-de-açúcar.



Letras minúsculas iguais entre genótipos são indicativas que não há diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. (G1 - RB863129; G2 - RB92579; G3 - RB962962; G4 - RB021754; G5 - RB041443).

Tais resultados, evidenciam que os genótipos de cana-de-açúcar estudados têm comportamentos diferentes quando submetidos ao déficit hídrico, o que pode estar relacionada com as características genéticas.

CONCLUSÃO

O déficit hídrico na fase de perfilhamento em cana-de-açúcar, aumenta a fluorescência inicial e reduz a fluorescência variável, máxima e a eficiência quântica máxima do PSII.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- Baker, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annual Review of Plant Biology*, v.59, n.1, p.89-113, 2008.
- Bolhàr-Nordenkamp, H. R.; Long, S. P.; Baker, N. R.; Öquist, G.; Schreider, U.; Lechner E. G. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrument. *Functional Ecology*, v.3, p.497-514, 1989.
- Dlamini, P. J. Drought stress tolerance mechanisms and breeding effort in sugarcane: a review of progress and constraints in South Africa. *Plant Stress*, v.2, p.1-18, 2021.
- Doorenbos, J.; Kassam, A.H. Yield response to water. *Irrigation and drainage paper*, v.33, p.257, 1979.
- Ferreira, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs: Sisvar. *Brazilian Journal of Biometrics*, v.37, n.4, p.529-535, 2019.
- Konrad, M. L. F.; Silva, J. A. B. da; Furlani, P. R.; Machado, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. *Bragantia*, v.64, n.3, p.339-347, 2005.
- Lima, G. S. de.; Dias, A. S.; Soares, L. A. A. dos.; Gheyi, H. R. ; Nobre, R. G. ; Silva, A. A. R. da. Eficiência fotoquímica, partição de fotoassimilados e produção do algodoeiro sob estresse salino e adubação nitrogenada. *Revista de Ciências Agrárias*, v.42, n.1, p.214-225, 2019.
- Maxwell, K.; Johnson, G. N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, v.51, n.345, p.659-668, 2000.
- Sage, R. F.; Peixoto, M. M.; Sage, T. L. Photosynthesis in sugarcane. Moore, P. H.; Botha, F. C. (Eds.). *Sugarcane: physiology, biochemistry, and functional biology*. Iowa: Wiley-Blackwell. 2013. p.121-149.
- Silva, M. D. A.; Jifon, J. L.; Silva, J. A. G.; Santos, C. M.; Sharma, V. Relationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water deficit. *The Journal of Agricultural Science*, v.152, n.1, p.104-118, 2014.

Souza, C. A.; Vitti, A. C.; Sanquetta, C. R.; Gaitarossa, E. C. Produção de biomassa da cana-de-açúcar por meio do uso de organominerais em cana planta e cana soca. *BIOFIX Scientific Journal*, v.1, n.1, p.38-43, 2016.

Verma, K. K.; Song, X. P.; Verma, C. L.; Chen, Z. L.; Rajput, V. D.; Wu, K. C.; Liao, F.; Chen, G.L.; Li, Y. R. Functional relationship between photosynthetic leaf gas exchange in response to silicon application and water stress mitigation in sugarcane. *Biological Research*, v.54, n.1, p.1-11, 2021.