

# Caracterização fisiológica de sorgo sacarino em diferentes intensidades de irrigação

*Physiological characterization of sweet sorghum at different irrigation levels*

Luciano Rezende Moreira\*  
 Jardécio Damião Carvalho Ervilha\*\*  
 Paulo Henrique Coutinho\*\*\*  
 Juliana Gonçalves Vidigal\*\*\*\*  
 Juares Ogliari\*\*\*\*\*  
 Glauco Vieira Miranda\*\*\*\*\*  
 Lucas Felisberto Pereira\*\*\*\*\*

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma planta de origem africana, da mesma família do milho. O sorgo tipo sacarino é utilizado como matéria prima para bionergia (etanol) e apresenta elevada eficiência no uso da água. Este trabalho teve como objetivo caracterizar cultivares de sorgo sacarino quanto às características fisiológicas em diferentes intensidades de irrigação, analisar trocas gasosas e fluorescência de clorofila a fim de subsidiar programas de melhoramento genético direcionados à obtenção de genótipos produtivos de sorgo em situações de déficit hídrico. Foram avaliados quatro cultivares, tolerantes à seca: Rio, Ramada, BRS 501, BRS 506. O tratamento consistiu de três disponibilidades de água no solo: 80%, 60% e 40% da capacidade de campo (c.c.). Foram avaliadas a condutância estomática (gs), a taxa de fotossíntese líquida (A), a transpiração foliar (E) e a eficiência intrínseca do uso da água (EIUA, A/g). Também foi determinada a eficiência quântica ideal (Fv/Fm) do fotossistema II (FSII), o rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no FSII (Fo/Fm) e a eficiência fotoquímica no FSII (Fv/Fo). A disponibilidade hídrica não

*Sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench] is an African species belonging to the same family of maize. Saccharine-type sorghum is used as raw material for bioenergy (ethanol), and has high water-use efficiency. This study aimed to characterize sweet sorghum cultivars regarding physiological characteristics at different levels of irrigation. Four cultivars tolerant to drought were evaluated: Rio, Ramada, BRS 501, and BRS 506. Treatments consisted of three water availabilities: 80%, 60%, and 40% of field capacity. The study evaluated the stomatal conductance (gs), the net photosynthetic rate (A), leaf transpiration (T), and intrinsic water-use efficiency (EIUA, A/g). It also determined the optimal quantum efficiency (Fv/Fm) of photosystem II (PSII), the quantum yield of photochemical processes in the basal PSII (Fo/Fm), and in PSII photochemical efficiency (Fv/Fo). The availability of water caused no change (P > 0,05) in transpiration in the Ramada and BRS 501 cultivars, but affected (P < 0,05) the Rio and BRS 506 cultivars, which responded positively to increased irrigation. A similar result occurred with photosynthesis, in which case the different levels of water availability had a positive influence only in the BRS 506 and Rio*

\* Doutor em Fitotecnia (UFV). Professor do Instituto Federal Fluminense, *câmpus* Bom Jesus do Itabapoana/RJ - Brasil

\*\* Bolsista de Iniciação Científica (PIBIC). Graduando em agronomia Instituto Federal Fluminense, *câmpus* Bom Jesus do Itabapoana/RJ - Brasil

\*\*\* Mestrando em Fitotecnia (UFV) – Viçosa/MG - Brasil

\*\*\*\* Professora Doutora do Instituto Federal Fluminense, *câmpus* Bom Jesus do Itabapoana/RJ - Brasil

\*\*\*\*\* Professor Doutor do Instituto Federal Fluminense, *câmpus* Bom Jesus do Itabapoana/RJ - Brasil

\*\*\*\*\* Professor Doutor da Universidade Federal de Viçosa/MG - Brasil

\*\*\*\*\* Estudante de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa/MG - Brasil

causou alteração ( $P > 0,05$ ) na transpiração dos cultivares Ramada e BRS 501, mas afetou ( $P < 0,05$ ) os cultivares Rio e BRS 506 que responderam positivamente ao aumento da irrigação. Resultado semelhante ocorreu com a fotossíntese, já que as diferentes disponibilidades hídricas influenciaram positivamente apenas os cultivares Rio e BRS 506. Com o incremento da irrigação houve um acréscimo ( $P < 0,05$ ) na condutância estomática dos cultivares avaliados. Os resultados referentes à fluorescência da clorofila mostraram superioridade dos cultivares BRS 506, Rio e Ramada com valores maiores ( $P < 0,05$ ) de  $Fv/Fm$  e  $Fv/Fo$ . Os distintos níveis de disponibilidade hídrica e os diferentes cultivares não promoveram ( $P > 0,05$ ) alteração na EIUA. Esta metodologia, comum às outras culturas, pode ser utilizada para sorgo sacarino para estabelecer disponibilidades hídricas em novos experimentos que tenham a finalidade de discriminar cultivares tolerantes à seca.

Palavras-chave: Déficit hídrico. Fluorescência de clorofila. *Sorghum bicolor* L. Trocas gasosas.

*cultivars. The increase in irrigation resulted in an increase ( $P < 0,05$ ) in stomatal conductance of the evaluated cultivars. The results of chlorophyll fluorescence showed the superiority of BRS 506, Rio, and Ramada with higher values ( $P < 0,05$ ) of  $Fv/Fm$  and  $Fv/Fo$ . The different levels of water availability and cultivars did not promote ( $P > 0,05$ ) change in EIUA. This methodology, common in other crops, can be used for saccharine-type sorghum in order to establish water availability in new experiments aiming at discriminating drought-tolerant cultivars.*

*Key words: Water deficit. Chlorophyll fluorescence. Sorghum bicolor L. Gas exchange.*

## **Introdução**

O sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] em comparação à cultura da cana-de-açúcar para a produção de etanol apresenta várias vantagens: o seu cultivo é realizado a partir de sementes, apresenta ciclo vegetativo menor (90 a 130 dias), seu manejo pode ser totalmente mecanizado e apresenta eficiência no uso da água superior à cana (FAO, 2006).

De acordo com Bilich & DaSilva (2006), o Brasil possui grande potencial na produção de biocombustíveis utilizando, sobretudo oleaginosas e a cana-de-açúcar. Entretanto, em decorrência das grandes variantes climáticas existentes no Brasil, o cultivo da cana-de-açúcar em todas as regiões do país com o mesmo índice de produtividade encontrados na região centro-sul e nordeste é comprometido. Como alternativa, o sorgo sacarino é apresentado como uma espécie complementar, sobretudo em razão de suas características diferenciais quanto ao clima e solo (MARCOCCIA, 2007).

Ressalta-se, todavia, que em regiões tropicais a reduzida disponibilidade de água associada à ocorrência de reduzidos valores de temperatura e/ou fotoperíodos indutivos à diferenciação floral são considerados fatores limitantes ao desenvolvimento do sorgo durante o período de outono e inverno (SILVA, 2003).

O sorgo sacarino adapta-se bem às condições dos trópicos e regiões semiáridas justamente por apresentar um uso mais eficiente de água quando comparado ao milho tornando aquela cultura promissora na produção de bioenergia (REDDY et al., 2013).

Segundo Steponkus et al. (1980) mesmo em condições climáticas e edáficas de restrição de água, vários parâmetros fisiológicos, anatômicos e morfológicos, tanto de natureza indutiva como constitutiva, interagem e permitem a manutenção de processos vitais, como o crescimento e desenvolvimento das plantas consideradas tolerantes à seca.

O sorgo apresenta tolerância à seca e características fisiológicas que permitem paralisar o crescimento ou diminuir as suas atividades metabólicas sob déficit hídrico e, após o término de um período de estresse hídrico, as plantas podem até se recuperar mais rapidamente do que as que não passaram por limitação hídrica (AMARAL et al., 2003). No entanto, pouco se sabe sobre as características fotossintéticas de sorgo sob estresse hídrico (TINGTING et al., 2010).

O uso de parâmetros de fluorescência tem sido difundido principalmente no estudo de fotossíntese por ser um método não destrutivo que permite as análises qualitativa e quantitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa através do fotossistema II e possíveis relações com a capacidade fotossintética (NETTO et al., 2005).

Este trabalho objetivou caracterizar cultivares de sorgo sacarino utilizados para a produção de etanol, sob três intensidades de irrigação durante a primeira fase de crescimento da cultura (EC1), da germinação até a iniciação da panícula; avaliar trocas gasosas e fluorescência de clorofila e discriminar as características fisiológicas desses genótipos sob estresse hídrico.

## ***Material e métodos***

O experimento foi conduzido no campus da Universidade Federal de Viçosa, situada no município de Viçosa, MG. O ensaio foi realizado em casa de vegetação, sob condições controladas de temperatura e umidade do ar, durante os meses de janeiro a fevereiro de 2011, com uma planta por vaso de dez litros, com solo caracterizado como Latossolo Vermelho Distrófico.

Foram avaliados quatro cultivares de sorgo sacarino, disponibilizados pela EMBRAPA – Milho e Sorgo<sup>®</sup>: Rio, Ramada, BRS 501, BRS 506. O experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições.

Os cultivares foram semeados no dia 18 de janeiro e a emergência ocorreu entre os dias 20 e 22 do mesmo mês e irrigados, sob o tratamento 80% da capacidade do campo, com o intuito de garantir as condições ideais de desenvolvimento vegetativo inicial.

Após essa data, os cultivares foram submetidos aos seus respectivos tratamentos, com reposição hídrica diária para manutenção dos níveis de irrigação requeridos.

Os tratamentos consistiram de três níveis de água no solo: 80% da capacidade de

campo (80% c.c.), 60% da capacidade de campo (60% c.c.) e 40% da capacidade de campo (40% c.c.). Os vasos foram pesados diariamente e a água adicionada conforme a necessidade para a manutenção dos tratamentos.

As avaliações foram realizadas após 30 dias de emergência das plantas. Foram avaliadas a condutância estomática (gs), a taxa de fotossíntese líquida (A), a transpiração foliar (E) e a eficiência intrínseca do uso da água (EIUA, A/g), utilizando sistema portátil de trocas gasosas LCpro+ (System Serial No.32124, ADC BioScientific, England). Em folhas adaptadas ao escuro, foi determinada a eficiência quântica ideal (Fv/Fm) do fotossistema II (FSII), o rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no FSII (Fo/Fm) e a eficiência fotoquímica no FSII (Fv/Fo), através de fluorímetro (Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer OS5P, Opti-Sciences). O condicionamento das folhas foi realizado com a ajuda de cliques foliares e a intensidade de luz no sensor foi de 60% da capacidade total do aparelho, durante cinco segundos em cada leitura.

As análises estatísticas foram executadas no programa Statistical Analysis System (SAS), versão 9.1. Ed. Cary. USA, 2003.

## Resultados e discussão

A avaliação estatística dos parâmetros transpiração e fotossíntese apresentou interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre os fatores qualitativos cultivares (Ramada, Rio, BRS 501 e BRS 506) e os fatores quantitativos tratamentos (80%, 60% e 40% da capacidade de campo) (Tabela 1). Com isso, a avaliação da interferência da capacidade de campo foi feita para cada cultivar isoladamente, tanto para transpiração como para fotossíntese.

**Tabela 1 – Resumo da Análise de variância para os caracteres Transpiração (E), Fotossíntese (A), Condutância Estomática (gs) e Eficiência Intrínseca do Uso da Água (EIUA), Fv/Fm, Fo/Fm e Fv/Fo**

F.V.	G.L.	E	A	Gs	QM			
					EIUA	Fv/Fm	Fo/Fm	Fv/Fo
CULTIVARES	3	36.4631132	430.176274	0.10790072*	228.050346 <sup>ns</sup>	0.00470530*	0.00247778*	0.61411774*
ÁGUA	2	46.3352707	564.842503	0.17220957*	1003.458431 <sup>ns</sup>	0.00131158 <sup>ns</sup>	0.00067708 <sup>ns</sup>	0.07114803 <sup>ns</sup>
CULT*ÁGUA	6	14.0076888*	155.676971*	0.03999393 <sup>ns</sup>	1021.430261 <sup>ns</sup>	0.00072532 <sup>ns</sup>	0.00043508 <sup>ns</sup>	0.06886210 <sup>ns</sup>
RESIDUO	24	2.9811222	48.493187	0.02386698	755.77939	0.00079442	0.00075575	0.14971058

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

<sup>ns</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade

A disponibilidade hídrica não causou alteração ( $P > 0,05$ ) na transpiração dos cultivares Ramada e BRS 501, mas afetou ( $P < 0,05$ ) os cultivares Rio e BRS 506 (Tabela 1) que responderam positivamente ao aumento da irrigação com maiores taxas de transpiração (Figura 1). Resultado semelhante ocorreu com a fotossíntese, já que os distintos níveis de disponibilidade hídrica influenciaram positivamente ( $P < 0,05$ ) apenas os cultivares Rio e BRS 506 (Tabela 1). Nos cultivares Ramada e BRS 501 a fotossíntese não foi afetada ( $P > 0,05$ ) pela disponibilidade hídrica (Figura 2).

Figura 1 – Transpiração (E) de plantas de sorgo sacarino durante a primeira fase de crescimento da cultura (EC1) a três níveis de disponibilidade hídrica, 80%, 60% e 40% da Capacidade de Campo. Viçosa, MG, 2011

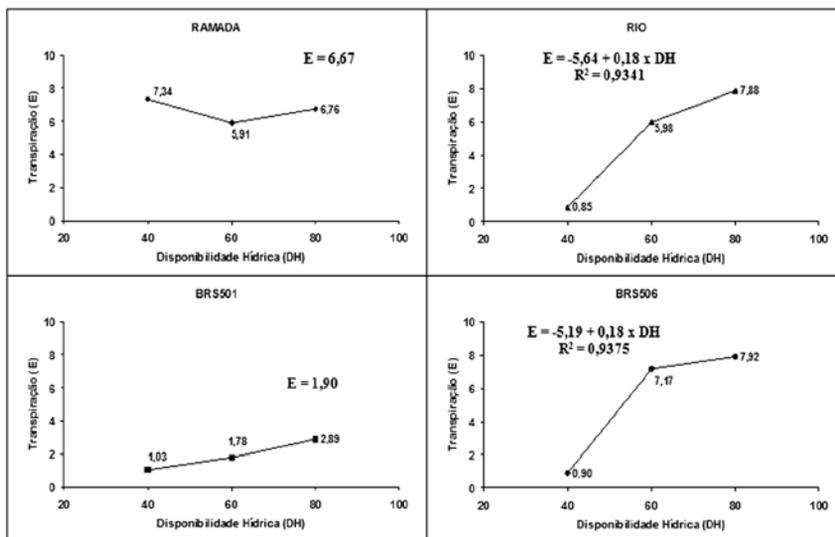
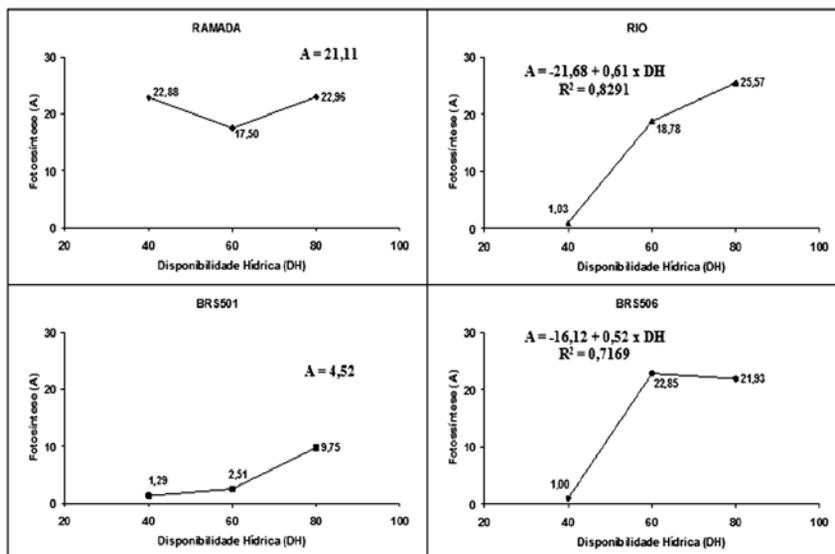
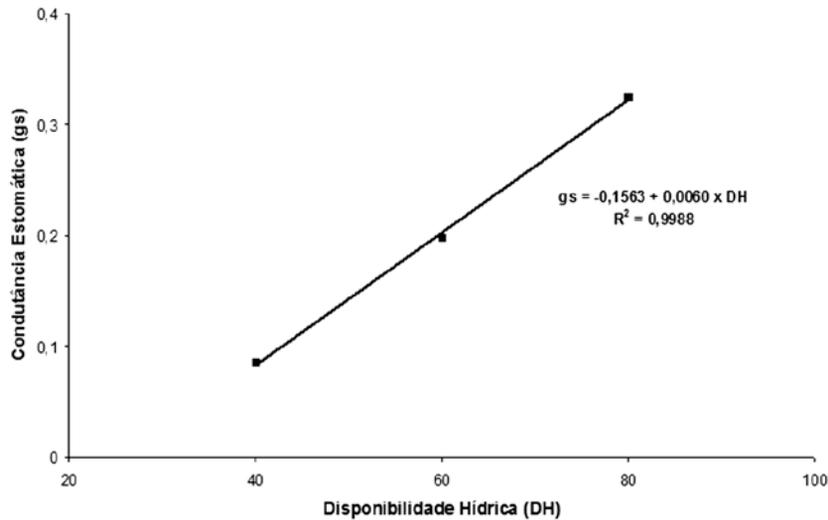


Figura 2 – Fotossíntese (A) em plantas de sorgo sacarino durante a primeira fase de crescimento da cultura (EC1) submetidas a três níveis de disponibilidade hídrica, 80%, 60% e 40% da Capacidade de Campo. Viçosa, MG, 2011



Na avaliação da condutância estomática não houve interação significativa ( $P > 0,05$ ) entre os cultivares e os tratamentos (Tabela 1). Com o incremento da irrigação, houve acréscimo ( $P < 0,05$ ) na condutância estomática, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Condutância Estomática (gs) em três níveis de disponibilidade hídrica, 80%, 60% e 40% da Capacidade de Campo, em plantas de sorgo sacarino durante a primeira fase de crescimento da cultura (EC1). Viçosa, MG, 2011



Os cultivares Ramada, Rio e BRS 506 apresentaram valores semelhantes de condutância estomática, enquanto o cultivar BRS 501 apresentou valores menores neste parâmetro (Tabela 2).

Tabela 2 - Condutância Estomática (gs) dos distintos cultivares (Ramada, Rio, BRS 506 e BRS 501) de plantas de sorgo sacarino durante a primeira fase de crescimento da cultura (EC1). Viçosa, MG, 2011

Cultivar	Condutância Estomática (gs)*
RAMADA	0.30185 <sup>a</sup>
RIO	0.23963 <sup>a</sup>
BRS 506	0.22333 <sup>a</sup>
BRS 501	0.04667 <sup>b</sup>
CV (%)	46,74

\* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Para a Eficiência Intrínseca do Uso da Água (EIUA), não houve efeito ( $P > 0,05$ ) de interação entre os cultivares (Ramada, Rio, BRS 501 e BRS 506) e a disponibilidade hídrica (80%, 60% e 40% da c.c.). Isoladamente, os distintos níveis de disponibilidade hídrica e os diferentes cultivares não promoveram ( $P > 0,05$ ) alteração na EIUA (Tabela 1). A média para este parâmetro avaliado foi de  $73,88 \pm 27,75$ .

Os resultados referentes à fluorescência da clorofila mostraram que não houve efeito ( $P > 0,05$ ) de interação entre os cultivares (Ramada, Rio, BRS 501 e BRS

506) e a disponibilidade hídrica (80%, 60% e 40% da c.c.). Os distintos níveis de disponibilidade hídrica não promoveram ( $P > 0,05$ ) alteração na fluorescência da clorofila. Os diferentes cultivares apresentaram resultados distintos de fluorescência da clorofila ( $P < 0,05$ ) (Tabela 1), indicando superioridade dos cultivares BRS 506, Rio e Ramada com valores maiores de  $F_v/F_m$  e  $F_v/F_o$  em relação ao cultivar BRS 501 (Tabela 3). Em contrapartida, os cultivares BRS 501 e Ramada foram os que apresentaram maiores valores na relação  $F_o/F_m$ .

**Tabela 3 - Eficiência quântica potencial ( $F_v/F_m$ ), rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos ( $F_o/F_m$ ) e eficiência fotoquímica do fotossistema II ( $F_v/F_o$ ), em plantas de sorgo sacarino durante a primeira fase de crescimento da cultura (EC1). Viçosa, MG, 2011**

Cultivar	Características Ecofisiológicas		
	$F_v/F_m$	$F_o/F_m$	$F_v/F_o$
BRS506	0,75633 <sup>a</sup>	0,24689 <sup>b</sup>	3,0848 <sup>a</sup>
RIO	0,75389 <sup>a</sup>	0,24489 <sup>b</sup>	3,1010 <sup>a</sup>
RAMADA	0,73100 <sup>ab</sup>	0,26067 <sup>ab</sup>	2,8086 <sup>ab</sup>
BRS501	0,70744 <sup>b</sup>	0,28089 <sup>a</sup>	2,5499 <sup>b</sup>
CV (%)	3,032177	6,199015	8,748868
Média Geral	0,737167	0,258333	2,886056

\* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

De acordo com Assis & Verona (1997), o papel da transpiração no crescimento e desenvolvimento da planta é fundamental. A mesma via de acesso do gás carbônico para a fotossíntese (os estômatos) permite a difusão do vapor d'água para a atmosfera. Assim, transpiração e fotossíntese estão intimamente associadas, como é demonstrado pelos resultados com sorgo sacarino, no presente trabalho.

A taxa líquida de fotossíntese foliar (A) de plantas submetidas a déficit hídrico moderado pode ser atribuído à limitação estomática, ao invés de fatores bioquímicos, como a atividade da Rubisco (FLEXAS et al., 2006). Estudos recentes indicam que baixas precipitações podem desencadear importantes atividades biológicas, incluindo a fotossíntese e a respiração em ambientes de déficit hídrico (LOIK, 2007). Os maiores valores nas taxas de fotossíntese (A) e transpiração (E) nos cultivares Rio e BRS 506 com o acréscimo na irrigação podem ser explicados pela abertura maior dos estômatos, elevando, assim os valores de condutância estomática (gs) que também respondeu positivamente à diminuição do estresse hídrico.

A inibição da fotossíntese induzida pelo estresse hídrico pode ser devida à limitação estomática, como verificado em quatro diferentes espécies de gramíneas, por Ghannoum et al. (2003) e Gonçalves et al. (2010). O estresse hídrico ocasiona modificações importantes no comportamento vegetal cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (SANTOS & CARLESSO, 1998).

Importante destacar que sob severos estresses de seca por períodos ainda mais prolongados, limitações não estomáticas, de ordem bioquímica, começam a ocorrer em triticales e milho (GRZESIAK et al., 2007). Nable et al. (1999) também encontraram reduções nas taxas transpiratórias em sorgo e cana de açúcar sempre que a fração de água disponível no solo decrescia.

A avaliação da fluorescência da clorofila, por sua vez, é importante para avaliação do comportamento dos cultivares em relação aos danos causados pela restrição hídrica. No presente trabalho, optou-se por avaliar apenas as relações  $F_v/F_m$ ,  $F_o/F_m$  e  $F_v/F_o$ , visto que elas são as mais representativas do estado fotoquímico das folhas ou mesmo indicadores de estresses (ZANANDREA et al., 2006).

O cultivar BRS 501 apresentou a menor eficiência fotoquímica no FSII ( $F_v/F_o$ ). Estes resultados são similares aos encontrados por Magalhães et al. (2009) na cultura do milho, que ressalta ainda, baseado em trabalho de Baker & Rosenqvst (2004), ser este o principal parâmetro utilizado para a avaliação desses danos no sistema fotossintético, uma vez que a eficiência fotoquímica do FSII indica quando todos os centros de reação estão abertos.

O presente trabalho também corrobora as afirmações de Bolhár-Norden Kampf & Öquist (1993) que comprovaram que plantas sem estresse apresentam relação  $F_v/F_m$  entre 0,85 e 0,75, para os quais valores menores que 0,75 seriam indicativos de condições inibitórias do FSII.

## ***Conclusões***

Conclui-se que a imposição de déficit hídrico afetou as taxas de fotossíntese e transpiração dos cultivares Rio e BRS 506, que responderam positivamente ao aumento da irrigação durante a primeira fase de crescimento da cultura (EC1). Com o incremento da irrigação, houve um acréscimo na condutância estomática de todos os cultivares, sendo que Rio, BRS 506 e Ramada apresentaram maior eficiência. A EIUA não apresentou diferença entre os cultivares nos distintos níveis de disponibilidade hídrica, evidenciando serem tolerantes à seca. Os resultados referentes à fluorescência da clorofila mostraram superioridade dos cultivares BRS 506, Rio e Ramada com valores maiores de  $F_v/F_m$  e  $F_v/F_o$ . Em contrapartida, os cultivares BRS 501 e Ramada foram os que apresentaram maiores valores na relação  $F_o/F_m$ . A metodologia usada, comum às outras culturas, pode ser perfeitamente utilizada para sorgo sacarino para estabelecer disponibilidades hídricas em novos experimentos que tenham a finalidade de discriminar cultivares resistentes à seca.

## ***Referências***

AMARAL, S. R.; LIRA, M. A.; TABOSA, J. N.; SANTOS, M. V. F. S.; MELLO, A. C.

- L.; SANTOS, V. F. Comportamento de linhagens de sorgo forrageiro submetidas a déficit hídrico sob condição controlada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 38, p 973-979, 2003.
- ASSIS, F. N.; VERONA, L. A. F. Consumo de água e coeficiente de cultura do sorgo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 26,p 665-670, 1997.
- BAKER, N. R.; ROSENQVST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, v.55, p. 1607-1621. 2004.
- BILICH, F. & DASILVA R. Análise multicritério da produção de biodiesel. *Núcleo de Assuntos Estratégicos*. 2006.
- BOLHÁR-NORDENKAMPH, H. R.; ÖQUIST, G. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: HALL, D. O.; SCURLOCK, J. M. O.; BOLHÁR-NORDENKAMPH, H. R.; LEEGOOD, L. R. C. (Eds.). *Photosynthesis and production in changing environment: a field and laboratory manual*. London: Chapman & Hall, 1993. p. 193-206. 1993.
- FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Sweet Sorghum in China. Rome. 2006.
- FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓM, M.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; HENKLE, M.; MARTÍNEZ-CAÑELLAS, 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 CO<sub>2</sub> concentration. *New Phytologist* v.172,p. 73–82, 2006.
- GHANNOUM, O.; CONROY, J. P.; DRISCOLL, S. P.; PAULL, M. J.; FOYER, C. H.; LAWLOR, D. W. Nonstomatal limitations are responsible for drought-induced photosynthetic inhibition in four C<sub>4</sub> grasses. *New Phytologist*, v.159, p. 599-608. 2003.
- 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, p. 378–386. 2010.
- GRZESIAK, M. T.; RZEPKA, A.; HURA, T.; HURA, K.; SKOCZOWSKI, A. Changes in response to drought stress of triticale and maize genotypes differing in drought tolerance. *Photosynthetica*, v. 45, p. 280-287. 2007.
- LOIK, M. E. Sensitivity of water relations and photosynthesis to summer precipitation pulses for *Artemisia tridentata* and *Purshia tridentata*. *Plant Ecology*, v. 191, p. 95–108. 2007.
- MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; KARAM, D.; MAGALHÃES, M. M.; CANTÃO, F. R. O. Caracterização ecofisiológica de linhagens de milho submetidas à baixa disponibilidade hídrica durante o florescimento. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 8, p. 223- 232. 2009.
- MÜLLER, J. E.; WHITSITT, M. S. Plant cellular responses to water deficit. In: BELHASSEN, E. (Ed.). *Drought Tolerance in Higher Plants: Genetical, Physiological and Molecular Biological Analysis*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 41-46. 1997.

- NABLE, R. O.; ROBERTSON, M. J.; BERTHELSEN, S. Response of shoot growth and transpiration to soil drying in sugarcane. *Plant and Soil*, v. 207, p. 59-65. 1999.
- NASCIMENTO, R. Crescimento de plantas de sorgo sob diferentes disponibilidades de água no solo. *Revista Educação Agrícola Superior*, v. 23, p. 53-54. 2008.
- NETTO, A. T.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, G. J.; BRESSAN-SMITH, R. E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, v. 104, p. 199-209. 2005.
- REDDY, B. V. S.; ASHOK KUMAR, A.; RAVINDER REDDY, S.; PATIL, J. V. Developing a Sweet Sorghum Ethanol Value Chain. Documentation. INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI-ARID TROPICS, Patancheru, Andhra Pradesh, India. 2013.
- SANTOS, R. F. & CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande, v.2, n.3, p.287-294, 1998.
- SAS INSTITUTE. SAS/STAT software versão 9.1, Cary. 2003.
- SILVA, A. G. Desempenho de cultivares de sorgo forrageiro sob diferentes condições termofotoperiódicas. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 174p. 2003.
- STEPONKUS, P. L.; CUTLER, J. M.; O'TOOLE, J. C. Adaptation to water stress in rice. In: TURNER, N. C. & KRAMER, P. J. (Eds.) *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. New York: Wiley Interscience. 1980. p. 401-418.
- TINGTING, X.; PEIXI, S.; LISHAN, S. Photosynthetic characteristics and water use efficiency of sweet sorghum under different watering regimes. *Pak. J. Bot.*, v. 42, p. 3981-3994. 2010.
- ZANANDREA, I.; NASSI, F. L.; TURCHETTO, A. C.; BRAGA, E. J. B.; PETERS, J. A.; BACARIN, M. A. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência de clorofila em *Phaseolus vulgaris*. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 12, p. 157-161. 2006.

*Artigo recebido em: 19 out. 2012*

*Aceito para publicação em: 15 ago. 2013*