

Alterações nos componentes de trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em genótipos de milho submetidos a estresse hídrico no pré-florescimento

Roniel Geraldo Avila⁽¹⁾; Paulo César Magalhães⁽²⁾; Alyne Oliveira Lavinsky⁽³⁾; Amauri Alves de Alvarenga⁽⁴⁾; Carlos César Gomes Junior⁽⁵⁾; Cleide Nascimento Campos⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Doutorando em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Lavras; Lavras; Minas Gerais; ronielgeraldo@yahoo.com.br.; ⁽²⁾ Pesquisador; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Milho e Sorgo; Sete Lagoas; Minas Gerais; ⁽³⁾ Pós-doutoranda; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Milho e Sorgo; Sete Lagoas; Minas Gerais; ⁽⁴⁾ Professor; Universidade Federal de Lavras; Lavras; Minas Gerais; ⁽⁵⁾ Mestrando; Universidade Federal de Alfenas; Alfenas; Minas Gerais; ⁽⁶⁾ Doutoranda em Biologia Vegetal; Universidade Estadual de Campinas; Campinas; São Paulo.

RESUMO: A ocorrência de déficit hídrico no solo é motivo de grande preocupação na agricultura, pois, sob essa condição, os cultivos apresentam crescimento e desenvolvimento limitado, o que pode comprometer tanto a produção como a qualidade dos alimentos produzidos. O estudo foi desenvolvido em casa de vegetação, sendo utilizados genótipos de milho tolerantes DKB390 e BRS1055 e sensíveis BRS1010 e 2B710 a seca, e contou-se com duas condições hídricas: irrigado normal e déficit hídrico. No período do pré-florescimento foi imposto o estresse hídrico, e esse foi mantido por doze dias. Ao final do período de estresse avaliou-se trocas gasosas e eficiência do fotossistema II. Verificou-se, que a seca afeta significativamente a fotossíntese independente do genótipo analisado. Os genótipos BRS1055 e DKB390 apresentaram maiores taxa fotossintética e eficiência do fotossistema II em relação aos sensíveis BRS1010 e 2B710.

Termos de indexação: Seca; Produção; *Zea mays*.

INTRODUÇÃO

A ocorrência de déficit hídrico no solo é motivo de grande preocupação na agricultura, pois, sob essa condição, os cultivos apresentam crescimento e desenvolvimento limitado, o que pode comprometer tanto a produção como a qualidade dos alimentos produzidos. A seca gera diversas disfunções fisiológicas no milho, afetando, dentre outros, a fotossíntese, que pode ser inibida por limitação estomática e não estomática. Inicialmente com a seca os estômatos fecham, ocasionando a diminuição da concentração interna de gás

carbônico (C), comprometendo a atividade de carboxilação da ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), pela baixa concentração de substrato (CO₂), refletindo em decréscimo na fotossíntese por limitação estomática, (SOUZA et al., 2013).

Torna-se importante evidenciar que as mudanças de padrões das reações fotossintéticas, causadas pelo estresse hídrico, levam à formação de EROs, as quais promovem reações oxidativas levando a destruição do PSII, onde a proteína D1 é danificada. Assim, a relação Fv/Fm é regulada negativamente, decrescendo o fluxo de elétrons do PSII para o PSI, reduzindo a síntese de ATP. Em adicional, a baixa concentração de ATP compromete a fosforização da ribulose-5-fosfato para posterior regeneração da ribulose-1,5-bisfosfato, uma molécula chave para entrada do CO₂ no ciclo de Calvin é comprometida, levando a decréscimos na taxa fotossintética, caracterizando uma limitação bioquímica (não estomática) (FLEXAS; MEDRANO, 2002; GHANNOUM et al., 2003).

Deste modo, nota-se que a dinâmica fotossintética frente a regimes hídricos desfavoráveis é complexa. Assim, objetivou-se com esse estudo caracterizar os componentes de trocas gasosas e fluorescência da clorofila em genótipos de milho com características contrastantes para tolerância a seca.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condição de casa de vegetação na Embrapa Milho e Sorgo (19°28' S, 44°15'08" W, 732 m de altitude), e o

material vegetal consistiu em quatro híbridos de milho contrastantes para tolerância a seca, sendo dois tolerantes (DKB390 e BRS1055) e dois sensíveis (BRS1010 e 2B710). Onde o delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x4, sendo duas condições hídricas e quatro genótipos com seis repetições.

As plantas foram cultivadas em vasos plásticos com capacidade de 20 L, contendo Latossolo Vermelho Distrófico Típico. O teor de água no solo foi monitorado diariamente entre 9h e 15h, com auxílio de sensores de umidade modelo GB Reader N1535 (Measurement Engineering, Austrália), instalados no centro de cada vaso, com auxílio de um trado de rosca, a uma profundidade de 20 cm. Esses sensores detectam a tensão de água no solo, com base na resistência elétrica, e são acoplados a medidores digitais. A reposição hídrica através de irrigação foi realizada com base nas leituras obtidas com o sensor e a água reposta, até a capacidade de campo durante o período que antecedeu a imposição dos tratamentos. Os cálculos de reposição de água foram realizados com o auxílio de uma planilha eletrônica, feita em função da curva de retenção de água do solo. Em paralelo, foram realizados todos os tratamentos culturais e fitossanitários necessários, de acordo com a demanda da cultura do milho. A unidade experimental foi composta pelo vaso, contendo duas plantas e seis repetições por tratamento.

Ao atingir o estágio de pré-florescimento, a metade de cada tratamento inicial foi submetida ao déficit hídrico (DH) e a outra metade continuou recebendo irrigação diariamente, a fim de manter a umidade do solo próxima a capacidade de campo (CC), com tensão de água no solo de -18 kPa. A exposição ao DH se deu pelo fornecimento diário de 50% da água total disponível até a tensão de água no solo atingir, no mínimo, -138 kPa, a qual foi mantida por um período de doze dias

Após os doze dias de estresse foram avaliadas entre o período de 9h e 10h, as trocas gasosas foliares, com um analisador de gases infravermelho (IRGA – *Infrared Gas Analyzer*), modelo LI 6400 (LI-COR, Lincoln, NE, EUA), equipado com um fluorômetro (LI-6400-40, LI-COR Inc.). As variáveis de fluorescência da clorofila *a* foram realizadas utilizando um fluorômetro de pulso modulado (PEA- *Pocket chlorophyll Fluorimeter*), modelo Hansatech, em folhas correspondentes ao da inserção da espiga

Aplicou-se testes estatísticos preliminares para adequação, ou não, dos resultados a análise da variância (ANOVA). O teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, foi utilizado para testar todo e qualquer contraste.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sob CC, os valores da taxa fotossintética (*A*) e da condutância estomática ao vapor de água (g_s) diferiram entre os genótipos, com maiores valores no BRS1055, intermediários em 2B710 e DKB390, e inferiores no BRS1010. Ainda nessa condição, os valores de taxa transpiratória (*E*) foram maiores no genótipo 2B710, intermediários em BRS1055, e menores em BRS 1010 e DKB390, enquanto a concentração interna de carbono (C_i) não variou (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros de trocas gasosas obtidos em quatro genótipos de milho contrastantes para tolerância ao déficit hídrico cultivados sob diferentes níveis de água no solo.

Parâmetro	Sensíveis				Tolerantes			
	BRS1010		2B710		DKB 390		BRS1055	
	CC	DH	CC	DH	CC	DH	CC	DH
<i>A</i>	23,20cA	0,152bB	28,06bA	1,187bB	27,72bA	2,257aB	33,62aA	2,257aB
g_s	0,102cA	0,007aB	0,145bA	0,010aB	0,138bA	0,023aB	0,189aA	0,023aB
<i>E</i>	2,107cA	0,088aB	3,886aA	0,192aB	2,347cA	0,499aB	2,979bA	0,498aB
C_i	75,27aB	357,8aA	31,64aB	158,9cA	43,38aB	215,5bA	67,94aB	214,4A
F_vF_m	0,803aA	0,762bB	0,790aA	0,757bB	0,800aA	0,757bB	0,801aA	0,784aA
<i>A/E</i>	11,99aA	1,645bB	7,315bA	6,508aA	11,81aA	4,592aB	11,28aA	4,599aB

Abreviaturas: *A*-taxa fotossintética ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); F_vF_m - máxima eficiência do fotossistema II; g_s -condutância estomática ($\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); *E*-taxa transpiratória ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$); C_i -concentração interna de CO_2 e *A/E*-eficiência na uso da água ($\text{mmol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$)

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Letras minúsculas denotam comparações entre os genótipos dentro de um mesmo nível de água no solo, e maiúsculas comparações entre os níveis de água no solo dentro de um mesmo genótipo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Por sua vez, independentemente do genótipo, houve redução expressiva de *A*, F_vF_m e g_s em plantas expostas ao estresse gerado pelo DH, quando comparadas àquelas que tiveram a umidade do solo mantida próxima à CC. Paralelamente, houve um aumento nos valores de C_i . Cabe reforçar, que plantas sob DH, oriundas dos genótipos tolerantes (DKB390 e BRS1055) exibiram em média, valores de *A* e de g_s , respectivamente, 70,33% e 64,66% maiores em relação àqueles verificados em plantas oriundas dos genótipos sensíveis (2B710 e BRS1010) cultivadas na mesma condição. Além disso, os genótipos sensíveis tenderam a apresentar menores taxas transpiratórias (*E*) em relação aos tolerantes. Entretanto, dado aos valores demasiados baixos de *A* no genótipo BRS1010 sob DH, a relação de eficiência de uso da água (*A/E*) também foi baixa, uma vez que no genótipo 2B710, o DH fez diminuir o gradiente necessário para assegurar uma difusão

adequada do CO₂, desde a atmosfera até o sítio de carboxilação no cloroplasto. Em magnitude inferior a do genótipo BRS1010, a *A/E* não declinou, mantendo, inclusive, valores similares aos verificados em genótipos tolerantes, em paralelo a um menor volume de água no solo.

Entretanto, os genótipos DKB390 e BRS1055, apresentaram sob DH valores de *A* e de *g_s* maiores em relação aos BRS1010 e 2B710, além de tenderem a apresentar maiores valores de *E* (Tabela 3).

Notavelmente, sob DH, o genótipo BRS1010 praticamente não perdeu calor latente via *E*, e com isso, provavelmente, a temperatura foliar foi aumentada, ocasionando assim, danos na etapa fotoquímica da fotossíntese. Com o dano fotoquímico, a disponibilidade de NADPH e ATP para uso pelas enzimas de redução e de fosforilação do carbono na etapa bioquímica, foi comprometida, explicando assim, o aumento em *C_i* e os baixíssimos valores de *A* em relação ao de plantas desse genótipo sob CC, caracterizando uma limitação não estomática (GHANNOUM, 2009). Os baixos valores de *A*, associados aos também baixos valores de *E*, resultaram em menor *A/E*. Cabe ressaltar, que o genótipo BRS1010, apresentou sob DH, valores de *A* 7,81 vezes menor em relação ao 2B710, enquanto *E* foi apenas 2,18 vezes menor, o que explica os valores de *A/E* em 2B710 similares aos verificados nos genótipos DKB390 e BRS1055.

De acordo com Mutava et al. (2011), genótipos tolerantes ao DH mantêm-se produtivos por aumentarem *E*, o que por sua vez, ocorre às expensas de um maior consumo de água. Ao liberarem mais água, via abertura dos estômatos, haveria um resfriamento foliar, que evitaria os danos fotoquímicos. No entanto, todos os genótipos tiveram *F_vF_m* diminuída sob DH, quando comparados aos respectivos controles sob CC, sendo que, o genótipo BRS1055 exibiu, em relação aos demais, maiores valores dessa variável sob DH.

CONCLUSÕES

A seca promoveu alterações em todos os componentes de trocas gasosas independente do genótipo analisado. Os genótipos tolerantes BRS1055 e DKB390 apresentaram maior eficiência do fotossistema II atrelado a maior taxa fotossintética sob déficit hídrico quando comparado aos genótipos sensíveis BRS1010 e 2B710.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Lavras, a EMBRAPA-Milho e Sorgo e ao CNPq.

REFERÊNCIAS

FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-Inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitation revisited. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, n. 2, p. 183-189, 2002.

GHANNOUM, O. C4 photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, n. 4, p. 635-644, July 2009.

GHANNOUM, O. et al. Non-stomatal limitations are responsible for drought-induced photosynthetic inhibition in four C4 grasses. **New Phytologist**, Cambridge, v. 159, n. 3, p. 835-844, Sept. 2003.

MUTAVA, R. N. et al. Characterization of sorghum genotypes for traits related to drought tolerance. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 123, n. 1, p. 10-18, July 2011.

SOUZA, T. C. et al. Morphophysiology, morphoanatomy, and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, Copenhagen, v. 35, n. 11, p. 3201-3211, Nov. 2013.



XXXI CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO

**"Milho e Sorgo: inovações,
mercados e segurança alimentar"**
