

## RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DO MILHO IRRIGADO EM CULTIVOS DE INVERNO E VERÃO

Samuel Silva<sup>1</sup>  
Carla Sabrina da Silva<sup>2</sup>  
Amanda Cibele da Paz Sousa<sup>3</sup>  
Edmaíris Rodrigues Araújo<sup>4</sup>  
Jonatas Emanuel Souza<sup>5</sup>

### INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos grãos mais importantes do mundo, pois é utilizado nas indústrias de rações para animais e em menor parte no consumo humano, sendo transformado em óleo, farinha, amido, margarina, xarope de glicose e flocos para cereais matinais. Conforme a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP, 2018), a produção mundial de grãos de milho na safra 2017/18 foi de 1,03 bilhões de toneladas (t), em que os Estados Unidos foram responsáveis por 371 milhões de t, a China com 215,9 milhões de t e o Brasil com 92 milhões de t. No entanto, em alguns Estados brasileiros, o baixo nível tecnológico e os veranicos interferem nas variáveis ecofisiológicas como fotossíntese, transpiração, no crescimento, desenvolvimento e produtividade agrícola da cultura, pois a água é essencial para as reações metabólicas da planta. Conforme Brito et al. (2013), a ocorrência de déficit hídrico durante o pendoamento e o enchimento dos grãos causa perdas na produtividade agrícola porque nessa fase ocorre a síntese de componentes do rendimento.

A técnica agrônoma para amenizar os efeitos da falta de água no solo é a irrigação, porém, deve-se estudar a resposta fisiológica da planta frente à quantidade de água utilizada, de modo a se evitar déficit ou excesso hídrico, principalmente no verão, quando há maior incidência de radiação solar e maiores temperatura do ar, promovendo altas taxas de evapotranspiração e alterando o metabolismo da planta, comparado com o inverno. Os índices fisiológicos tais como taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A), transpiração (E), condutância estomática (gs) e concentração interna de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>) são afetados por fatores ambientais, como luz, temperatura, concentração de CO<sub>2</sub> e disponibilidade de água e nutrientes (Shimazaki et al., 2007; Taiz & Zeiger, 2013; Melo et al., 2010). Dessa forma, limitações mesofílicas e bioquímicas podem ocasionar decréscimo na taxa fotossintética das plantas (Grassi & Magnani, 2005), em que o déficit hídrico é um dos fatores mais limitantes, principalmente quando ocorre no período de florescimento do milho. Uma ocorrência de déficit hídrico na cultura do milho com a inevitável diminuição na gs, causa redução na C<sub>i</sub> e desbalanço na relação [CO<sub>2</sub>]/[O<sub>2</sub>], o que deve refletir em diminuição na A e aumento na fotorespiração (FR) (Maroco et al., 1997; Massad et al., 2007).

<sup>1</sup> Professor EBTT, Instituto Federal de Alagoas – Campus Piranhas - IFAL, samuel.silva@ifal.edu.br.

<sup>2</sup> Graduanda do Curso de Engenharia Agrônoma do Instituto Federal de Alagoas – Campus Piranhas - IFAL, carlaabrina@gmail.com

<sup>3</sup> Graduanda do Curso de Engenharia Agrônoma do Instituto Federal de Alagoas – Campus Piranhas - IFAL, amandacibele-21@hotmail.com;

<sup>4</sup> Graduanda do Curso de Engenharia Agrônoma do Instituto Federal de Alagoas – Campus Piranhas - IFAL, edmairisengifal@gmail.com

<sup>5</sup> Graduando do Curso de Engenharia Agrônoma do Instituto Federal de Alagoas – Campus Piranhas - IFAL, jonatas072010@gmail.com

Outro fator importante para a fotossíntese e produção de biomassa é o teor de clorofila das folhas. As clorofilas são pigmentos responsáveis por aproveitar a radiação envolvida na atividade fotossintética das plantas. Essas moléculas se localizam na membrana do tilacóide, dentro dos cloroplastos, e quando absorvem os fótons (energia luminosa) refletem a cor verde. A perda de clorofila e a consequente redução da capacidade fotossintética das plantas ocorre progressivamente sob condições de estresse hídrico. Com isso, a análise dos pigmentos fotossintéticos é a técnica mais adequada para avaliar a sanidade e a integridade dos aparatos internos da célula durante o processo de fotossíntese (Rong-Hua et al., 2006). Além disso, essa ferramenta permite detectar e quantificar plantas tolerantes a esses tipos de estresse (Jabeen et al., 2008).

Diante disso, esse trabalho teve como objetivo avaliar índices fisiológicos da cultura do milho submetido a níveis de água em duas épocas de cultivo na região de Rio Largo-AL.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), Rio Largo-AL, em duas épocas de cultivo: outono-inverno de 29 de fevereiro a 20 de junho de 2016 e primavera-verão de 19 de novembro de 2017 a 19 de março de 2018. O delineamento estatístico utilizado foi blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram cinco lâminas de irrigação (L1-40, L2-80, L3-120, L4-160 e L5-200% da ETc).

O preparo do solo foi realizado com gradagens aradora e niveladora. O sulcamento foi realizado manualmente com sulcos de 8,0 m de comprimento espaçados de 0,8 m, resultando em 20 linhas por parcela (128 m<sup>2</sup>). Realizou-se calagem de acordo com a análise de solo para elevar a saturação de bases para 60%. A adubação de fundação foi feita em função da produtividade esperada de 10 t ha<sup>-1</sup>, de acordo com Coelho, (2007), com aplicação de fósforo mais metade do potássio em fundação e a segunda metade do potássio mais o nitrogênio foram aplicados em cobertura aos 15 dias após o plantio (DAP). O híbrido de milho AG7088 foi semeado colocando-se duas sementes a cada 0,25 m, e quando as plantas atingiram 4 folhas totalmente expandidas, foi feito o desbaste para retirada de uma planta, deixando 50.000 plantas por hectare. O controle das plantas nativas foi efetuado via capinas manuais e herbicidas, com uso de atrazina a 2,6 L ha<sup>-1</sup> e glifosato a 6,5 L ha<sup>-1</sup>. Também foi aplicado inseticida devido ao ataque da lagarta-do-cartucho com metomil na dose de 0,6 L ha<sup>-1</sup>. O sistema de irrigação utilizado foi gotejamento superficial com fitas gotejadoras de 16 mm de diâmetro, gotejadores a cada 0,2 m e 0,8 m entre linhas, sendo uma linha de irrigação por fileira de plantas, pressão de serviço aferida de 5 mca e vazão de 1,1 L h<sup>-1</sup>.

Os dados agrometeorológicos necessários para os cálculos de ETc e para o manejo da irrigação foram obtidos no Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA) do CECA/UFAL, que mantém uma estação automática de aquisição de dados ao lado da área onde foi realizado o experimento. A ETc foi calculada pelo método de Kc “único”, ajustado para a região de acordo o boletim 56 da Food Agriculture Organization-FAO (Allen et al., 1998).

Os índices fisiológicos foram mensurados com uso de um analisador de trocas gasosas modelo LCpro+®, contendo um IRGA-Infra Red Gas Analyser (Figura 12). As avaliações foram realizadas nas plantas no horário entre 8 e 10 horas da manhã na fase de floração, aproximadamente aos 60 DAP. As medidas foram realizadas na folha +3 de duas plantas por subparcela, totalizando 8 medições por tratamento para a obtenção das médias das variáveis: condutância estomática-gs (mol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>), fotossíntese líquida-A (μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>), transpiração-E

( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) e concentração interna de  $\text{CO}_2$  - $C_i$  ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ). A eficiência instantânea da carboxilação-EiC foi obtida pela relação  $A/C_i$ .

As leituras do teor de clorofila, baseadas nas propriedades óticas das folhas, foram feitas com o clorofilômetro ClorofiLOG modelo CFL 1030 (Falker Automação Agrícola, Brasil), que fornece valores chamados Índice de Clorofila Falker (ICF) proporcionais à absorvância das clorofilas (Falker, 2008). Esses cálculos são feitos com base na absorção de luz em comprimentos de onda característicos da clorofila. O clorofiLOG mede a quantidade de radiação transmitida através das folhas, de forma óptica, em três diferentes comprimentos de onda, dois na faixa do vermelho, próximos aos picos de absorção da clorofila ( $\lambda=635$  e  $660$  nm) e um no infravermelho próximo ( $\lambda=880$  nm). A combinação destes valores de transmitância nestes três comprimentos de onda gera o ICF – Índice de Clorofila Falker. Foram utilizadas cinco plantas na linha central da subparcela e em cada planta foram realizadas medições nos terços superior, médio e inferior a mais ou menos 1,5 cm da margem da folha +3, sendo posteriormente obtida a média geral das diferentes partes da folha. As medições ocorreram entre as 10h e 14h para evitar o mínimo efeito possível da variação de irradiância nas leituras do clorofilômetro durante as horas do dia.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do início da fase de crescimento, quando as lâminas foram diferenciadas conforme os tratamentos, na época 1 a ocorrência de chuvas intensas dificultaram a aplicação e o controle da irrigação, de modo que os tratamentos L1, L2, L3, L4 e L5 foram irrigados com totais de 4, 43, 57, 123 e 160 mm, respectivamente. Na época 2 foi possível ter controle dos tratamentos e as lâminas por eventos de irrigação foram em média 3, 7, 11, 16 e 20 mm  $\text{dia}^{-1}$  para L1, L2, L3, L4 e L5, respectivamente. As lâminas totais de água aplicadas foram de 233, 252, 259, 290 e 332 mm na época 1 e de 188, 276, 381, 504 e 631 mm na época 2 em L1, L2, L3, L4 e L5, respectivamente.

A avaliação fisiológica realizada no florescimento das plantas não apresentou diferenças significativas para as variáveis analisadas em função das lâminas de irrigação, porém, houve diferenças na magnitude das variáveis entre as épocas de cultivo. Em função das lâminas de irrigação, os níveis de concentração interna de  $\text{CO}_2$  foram em média  $180 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  na época 1, enquanto na época 2 foi de  $111 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . As médias de transpiração, condutância estomática, fotossíntese e eficiência instantânea da carboxilação da época 1 foram de  $3,65 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ,  $0,18 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ,  $11,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e  $0,09$ , respectivamente. Na época 2 esta mesma sequência de variáveis teve valores de  $7,91 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ,  $0,47 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ,  $30,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e  $0,30$ , respectivamente.

Estas diferenças de magnitude podem ter ocorrido em função da variação de temperatura entre as épocas, pois, quando todos os fatores são constantes, o aumento da temperatura até  $25\text{-}30^\circ\text{C}$  favorece a abertura estomática (aquece a folha e causa maior diferença de pressão de vapor - molécula do ar se expande ao se aquecer e se desloca, mantendo a diferença de potencial). Entretanto acima dessa temperatura, ocorre aumento na respiração (maior concentração de  $\text{CO}_2$  interna) e a planta tende a fechar os estômatos (Taiz & Zeiger, 2013). Além disso, em função de maior  $C_i$  no mesófilo foliar há um breve aumento na taxa de fotossíntese com conseqüente diminuição da mesma, em que essa só irá aumentar quando a  $g_s$  normalizar. Isso pode acontecer nas horas mais quentes do dia, pois é nessas horas com maior incidência de luz que a planta pode fazer mais fotossíntese, havendo então, um descompasso entre perda de água e captação de  $\text{CO}_2$ . O milho, por ser uma planta  $C_4$ , consegue reduzir a abertura de seus estômatos, visando equilibrar a perda de água por transpiração, uma vez que, neste sistema de metabolismo, ele consegue armazenar  $\text{CO}_2$

durante a noite e nas horas mais amenas do dia, para depois utilizá-lo durante o dia e nas horas de maior incidência de luz, permanecendo com seus estômatos fechados. Uma maior disponibilidade hídrica pode favorecer uma maior condutância estomática e levar a um maior resfriamento da folha (dossel) pela transpiração.

De acordo com Tatagiba et al. (2015), o principal fator da redução do desempenho fotossintético seria a condutância estomática, pois quanto maior a abertura estomática maior a difusão de CO<sub>2</sub> para a câmara subestomática. Esse processo causa reduções na fotossíntese e promove o decréscimo de acúmulo de biomassa pela planta.

Brito et al. (2013) observaram durante a fase de floração que a variável fisiológica do milho mais sensível ao déficit hídrico foi a gs, em que a planta na condição de estresse tendeu a fechar os estômatos no sentido de minimizar a perda de água e manter a turgescência, refletindo na formação de carboidratos pela fotossíntese e no acúmulo de fitomassa na planta, principalmente do caule.

O índice de clorofila Falker (ICF) teve valor médio de 55,1 na época 1 e apresentou um ajuste quadrático significativo na época 2 em função das lâminas aplicadas com R<sup>2</sup> de 95%, variando de 48,4 (L1) a 56,4 (L4) e evidenciando o efeito deletério do menor suprimento hídrico sobre a clorofila da planta. Nascimento et al. (2015) também encontraram variação no índice de clorofila (ICF) do milho de 42 para 65 em tratamentos irrigados com 25 e 125% da ETo, respectivamente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As plantas de milho irrigado têm melhor resposta fisiológica quando cultivadas na estação seca, com maiores valores de abertura estomática e maior transpiração, aliadas a maiores taxas fotossintéticas.

**Palavras-chave:** Fotossíntese; Clorofila, Transpiração, Irrigação, *Zea Mays* (L.).

## REFERÊNCIAS

ALLEN, R. A.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements**. Roma: FAO, 1998. 328p. (Irrigation and drainage paper, 56).

BRITO, M. E. B.; ARAÚJO FILHO G. D.; WANDERLEY, J. A. C.; MELO, A. S.; COSTA, F. B.; FERREIRA, M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29, n.5, p.1244-1254, 2013.

COELHO, A. M. **Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. (Circular técnica, 96).

FALKER, Automação agrícola. Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030). Porto Alegre, 2008. 33p. Disponível em: <<http://www.falker.com.br>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). **Safra Mundial de Milho 2017/18 - 12º Levantamento do USDA**. Informativo USDA–Abril de

2018. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/>>. Acessado em: 20 dez 2018.

GRASSI, G.; MAGNANI, F. Stomatal, mesophyll conductance and biochemical limitations to photosynthesis as affected by drought and leaf ontogeny in ash and oak trees. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.28, p.834-849, 2005.

JABEEN, F.; SHAHBAZ, M.; ASHRAF, M. Discriminating some prospective cultivars of maize (*Zea mays* L.) for drought tolerance using gas exchange characteristics and proline contents as physiological markers. **Pakistan Journal of Botany**, Islamabad, v.40, n.6, p.2329-2343, 2008.

MAROCO, J. P.; KU, M. S. B.; EDWARDS, G. E. Oxygen sensitivity of C4 photosynthesis: evidence from gas exchange and chlorophyll fluorescence analyses with different C4 subtypes. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.20, p.1525-1533, 1997.

MASSAD, R. S.; TUZET, A.; BETHENOD, O. The effect of temperature on C4-type leaf photosynthesis parameters. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.30, p.1191-1204, 2007.

MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; SUASSUNA, A. F.; NETTO, A. O. A. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.32, n.1, p.73-79, 2010.

NASCIMENTO, F. N.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RIBEIRO, V. Q. Parâmetros fisiológicos e produtividade de espigas verdes de milho sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.14, n.2, p.167-181, 2015.

RONG-HUA, L. I.; PEI-POL, G. U. O.; BAUMZ, M.; GRANDO, S.; CECCARELLI, S. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. **Agricultural Sciences in China**, Oxford, v.5, n.10, p.551-557, 2006.

SHIMAZAKI, K. I.; DOI, M.; ASSMANN, S. M.; KINOSHITA, T. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Gainesville, v.58, n.1, p.219-247, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954p.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Fotossíntese em Eucalyptus sob diferentes condições edafoclimáticas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.23, n.4, p.336-345, 2015.