

**Fotossíntese, condutância estomática, carboxilação, uso eficiente da água e índice de maturação da espiga em cultivares de trigo sob enriquecimento de CO<sub>2</sub> num cenário de mudanças climáticas<sup>1</sup>**

*Milton E. Pereira-Flores<sup>2</sup>; Flavio B. Justino<sup>3</sup>; Bruno Silva Dias<sup>4</sup>; Diogo Baudson<sup>5</sup>, Ilse M. Gamarra-Niebles<sup>6</sup>.*

<sup>1</sup> Apresentado no XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 23 ago. a 28 ago. 2015

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Pós-doctor. Depto. Eng. Agrícola e Ambiental, UFV, Viçosa-MG, (31)38993466). milton.flores@ufv.br

<sup>3</sup> Meteorólogo, Prof. Associado, Depto. Engenharia e Ambiental, Meteorologia Aplicada, UFV, Viçosa, fjustino@ufv.br

<sup>4</sup> Estudante, Depto. Engenharia e Ambiental, UFV, Viçosa, bruno.dias@ufv.br

<sup>5</sup> Estudante, Depto. Engenharia e Ambiental, UFV, Viçosa, diogo.baudson@ufv.br

<sup>6</sup> Estudante, Depto. Engenharia e Ambiental, UFV, Viçosa, ilse.gamarra30@hotmail.com

**RESUMO:** Objetivou-se avaliar os efeitos da exposição de longo prazo de elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> e temperatura média na fisiologia e fenologia de plantas de trigo, cultivares Anahuac-75 e BRS254, conforme cenários de mudanças climáticas previstas para o ano 2050. Foram utilizadas câmaras de topo aberto para elevar a temperatura e as concentrações de CO<sub>2</sub> no ambiente de crescimento. Foram avaliadas a fotossíntese líquida foliar (*A*), condutância estomática (*g<sub>s</sub>*) com medidor portátil de trocas gasosas (IRGA - Infra Red Gases Analyser), e calculada a eficiência de carboxilação  $EC=A/C_i$  e o uso eficiente da água como  $EUA=E/A$ , onde *E* é a transpiração foliar. O índice de maturação de espigas (IME) foi utilizado para determinar a maturação da espiga. Os resultados mostraram efeitos positivos do aumento da temperatura e da sua interação com elevada [CO<sub>2</sub>] nas variáveis fisiológicas e fenológicas avaliadas. Houve aumento da fotossíntese foliar entre 1.7 e 1.9 vezes na cultivar Anahuac-75 e 1.3 a 1.4 na cultivar BRS-254, em relação às plantas crescidas em ambiente atual. A *g<sub>s</sub>*, foram menores nas folhas de plantas sob enriquecimento, resultado da maior resistência para difusão do vapor de água entre a folha e a atmosfera, decorrente da maior concentração de CO<sub>2</sub> externa. A *g<sub>s</sub>* para o vapor se relaciona linearmente com a abertura dos estômatos e nas plantas submetidas a [CO<sub>2</sub>] elevadas o valor de *g<sub>s</sub>* diminuiu, consequentemente a transpiração foliar o que resultou em elevada eficiência na utilização instantânea de água ou UEA. A EC permitiu distinguir à cultivar Anahuac-75 como o genótipo promissor pela maior capacidade carboxilativa admitindo maiores valores de *A*. A cultivar Anahuac-75 apresentou os maiores valores de EC comparado com BRS-254. A EC permitiu distinguir à cultivar Anahuac-75 como genótipo promissor para a obtenção de cultivares melhor adaptados às condições de futuro. O IME, permitiu evidenciar o adiantamento da maturação da espiga sob interação maior [CO<sub>2</sub>] e elevada temperatura, sendo este último fator o mais importante. Se conclui que a elevação de [CO<sub>2</sub>] e da temperatura em ambientes de futuro podem favorecer características fisiológicas do trigo relacionadas com a capacidade fotossintética, fator de carboxilação, uso eficiente da água instantânea, e fenológicas como o encurtamento dos dias à maturação das espigas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Trigo, fotossíntese foliar, maturação de espiga, elevação da [CO<sub>2</sub>] e temperatura Câmaras de topo aberto.

**ABSTRACT:** The objective of work was assess long-term exposure the effects of highest [CO<sub>2</sub>] and temperature on physiology and phenology characteristics of wheat plants, cultivars Anahuac and BRS254, as climate change scenarios envisaged for the year 2050. Open top Chambers were used to increase the temperature and CO<sub>2</sub> concentrations in the growth environment. Net leaf photosynthesis were evaluated (*A*), stomatal conductance (*g<sub>s</sub>*) with portable meter of gas exchange (IRGA-Infra Red Gas Analyser), and calculated the carboxylation efficiency  $EC = A/C_i$  and the water use efficiency as  $WUE = E/A$ , where *E* is the leaf transpiration. The spikes maturation index of (IME) was used to determine the ripeness of the wheat spikes. The results showed positive effects of the increased

*O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

temperature and its interaction with elevated [CO<sub>2</sub>] in physiological and phenological variables evaluated. There was an increase of leaf photosynthesis between 1.7 and 1.9 times in Anahuac-75 cultivar and 1.3 to 1.4 in BRS-254, compared to plants grown in the current environment. The stomatal conductance, were lower in the leaves of plants under enrichment, a result of greater resistance to water vapour diffusion between the leaf and the atmosphere, due to the greater concentration of CO<sub>2</sub>. The *g<sub>s</sub>* is relates linearly with the opening of the stomata and in plants subjected to elevated [CO<sub>2</sub>] the value of *g<sub>s</sub>* decreased, consequently the leaf transpiration resulting in high efficiency instantaneous water use or WUE. The EC allowed distinguish to cultivate Anahuac-75 as the promising genotype due the largest capacity for carboxylation, admitting higher values of this cultivar compared with BRS-254 and to breeding programs to most adapted wheat cultivars to future environments. The IME, highlighting the advance allowed the spike maturation under greater interaction [CO<sub>2</sub>] and high temperature, being this factor the most important. It follows that [CO<sub>2</sub>] elevation and temperature in future environments can promote physiological characteristics of wheat related to photosynthetic capacity, carboxylation, efficient use of water, and as the days shortening phenological the maturation of spikes.

**KEY WORDS:** wheat, leaf photosynthesis, spike maturation, elevated [CO<sub>2</sub>] and temperature open top Chambers

## INTRODUÇÃO

A produção do trigo (*Triticum aestivum* L.) é influenciada pelas condições climáticas. O seu cultivo se desde a latitude 67° N a latitude 45° S, faixa esta que engloba diversos Estados brasileiros produtores deste cereal. Assim, é de fundamental importância avaliar os efeitos do clima regional sobre a cultura visando a elevação da temperatura entre 2-6°C, e da concentração de CO<sub>2</sub> entre 600-700 ppm para o ano 2050 conforme o IPCC (2007; 2013). A influência da elevação dos valores médios destes fatores climáticos sobre as plantas vai depender da via fotossintética e da sensibilidade do genótipo na sua resposta fisiológica e fenológica. Plantas do tipo C3 como o trigo podem elevar o seu potencial produtivo em resposta às altas [CO<sub>2</sub>] do que as plantas C4 (Mera *et al.*, 2006). Em geral, [CO<sub>2</sub>] entre 600 e 800 ppm, produzem estímulos no crescimento e na produção de plantas do tipo C3 (Ziska e Bunce, 2006) aumentando as taxa de assimilação ao redor de 30% devido à maior eficiência carboxilativa da Rubisco em condições de maior disponibilidade de CO<sub>2</sub>, assim, como pela redução do processo fotorrespiratório (Bloom, 2009). Por outro lado, altas [CO<sub>2</sub>] influenciam a condutância estomática, reduzindo a quantidade de água perdida pela transpiração, o que pode contribuir na redução da perda de vapor de água desde as folhas aumentando a eficiência do uso da água por unidade de carbono assimilado. Nesta situação, plantas sob estresse hídrico são capazes de manter a absorção de CO<sub>2</sub> durante um tempo maior (Larcher, 2006).

O aumento da temperatura média e seus eventos extremos em determinado local pode afetar o crescimento, desenvolvimento e produtividade do trigo, uma vez da proximidade dessas temperatura às temperaturas críticas cardinais. Em função da variabilidade genética em trigo e das épocas de semeadura praticadas, há uma incerteza na resposta das cultivares de trigo. Existe evidencia que o aumento da temperatura acelera o tempo até à maturidade, à colheita, e aumenta também a senescência foliar e da planta inteira (Porter et al 1999; Wheeler et al 2000). Estes efeitos são mais severos se as temperaturas máximas oscilam em torno de 34 °C (Fischer, 1980; Porter et al., 1999; Shah e Paulsen, 2003).

É também importante caracterizar melhor a resposta dos genótipos de trigo à interação de elevadas temperaturas e [CO<sub>2</sub>] uma vez conhecida que propriedades morfofisiológicas e bioquímicas foliares como a condutância estomática e eficiência de carboxilação podem responder diferentemente em função da espécie (Demmers-Derks et al., 1998; Bunce, 1998; Fritschi et al. (1999), ou no caso do trigo, ter efeitos negativos (Perez et al, 2014).

*O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

Neste trabalho objetivou-se determinar respostas e alterações fisiológicas e fenológicas de duas cultivares de trigo uma amplamente utilizada em programas de melhoramento como é ANAHUAC e a BRS254 classificada como trigo melhorador (W médio de 330) indicada pela EMBRAPA para os Estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal e Bahia como é sob elevada concentração de CO<sub>2</sub> e regime térmico.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na estação na área de irrigação e drenagem da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG (20°45'S, 42°45'W). As médias registradas durante o período da pesquisa oscilaram entre 14,0 °C para a mínima e 29,8 °C para a máxima. A temperatura média entre a semeadura e avaliação aos 88 dias após a semeadura (DAS) foi 25,1 °C, superior a faixa considerada ótima para o desenvolvimento do trigo que é de 19 a 24 °C (Alberto et al. (2009).

As cultivares Anahuac-75 e BRS-254 foram semeados em 09/08/2013 (Fig. 6-A) e colhidos entre 1 a 17 de novembro dependendo da cultivar e tratamento. O espaçamento entre plantas foi de 5cm entre plantas e 20cm entre fileiras. Foram utilizados lisímetros com seção de 1,0 m x 1,4 m e profundidade de 0,8 m, foram preenchidos com Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, de classe textural muito argilosa, onde se fez a correção da acidez por calagem conforme Ribeiro et al., (1999). Cobrindo os lisímetros foram instalados câmaras de topo aberto modelo UFV/MET-001 descrito por Silva et al., (2012) para elevar o regime térmico diário e elevar a concentração de CO<sub>2</sub> com relação da condição de campo. Nas plantas cultivadas com [CO<sub>2</sub>] de 700 ppm, fez-se a exposição diária entre 6:00 às 18:00 h. Os tratamentos foram T1= elevadas temperatura e [CO<sub>2</sub>], T2= temperatura elevada e [CO<sub>2</sub>] ambiente, e T3 = temperatura e [CO<sub>2</sub>] da região de Viçosa-MG denominada de ambiente, como controle. A temperatura nos tratamentos T1 e T2 foram 2,41°C acima das condições de T3. A [CO<sub>2</sub>] em T3 foi de 390 ± 10 ppm e de enriquecimento com CO<sub>2</sub> foi 700 ± 57 ppm de CO<sub>2</sub>. As [CO<sub>2</sub>] foi monitorada diariamente com medidor de [CO<sub>2</sub>] do ambiente, Modelo 535 da Testo® e os dados climatológicos, monitorados por sensores e uma estação meteorológica portátil, modelo Vantage Pro da Davis®. As plantas foram irrigadas por meio de fitas gotejadoras, para manter o solo próximo à capacidade de campo (CC = 33,62%). O teor de água no solo foi monitorado a cada hora por meio de TDR (Time Domain Reflectometry), com sondas instaladas a 0,20 m de profundidade no solo e leituras automáticas com a TDR100 da Campbell Scientific®. As condições experimentais foram implementadas aos 15 dias após a semeadura (DAS), e 10 dias após a emergência das plântulas.

No dia 4 e 5 de Outubro, 53 e 54 dias após a semeadura (prévio ao espigamento) foram medidas oito vezes na terceira folha jovem e madura a fotossíntese líquida foliar (A) medida como  $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2.\text{s}$ , e a condutância estomática ( $g_s$ ) medida como  $\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ , com IRGA LCPro+, com luz saturante de 1200  $\mu\text{molPPD}/\text{m}^2.\text{s}$ , e mesmas condições de fluxo de ar  $U_{\text{set}} [\mu\text{mols s}^{-1}]$ , e temperatura da câmara do IRGA. Com base os dados obtidos foram calculados o uso eficiente da água  $\text{EUA} = E/A$ , onde E é a transpiração foliar, e o fator de carboxilação como fator de carboxilação instantânea  $\text{EC} = A/C_i$ , onde A é a fotossíntese líquida foliar e  $C_i$  a concentração interna de CO<sub>2</sub> na câmara subestomática, medida em  $\text{vpm} = \mu\text{molCO}_2/\text{mol}$ . No dia 8 de novembro, 88 DAS, quando as espigas apresentavam sinais de amarelecimento, foi avaliada o índice de maturação da espiga (IME) com base na média de valores das espigas de cada unidade experimental, a partir de valores de uma escala de notas de 4 pontos envolvendo a coloração externa da espiga (Figura 1). O experimento foi avaliado em delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos, quatro repetições e avaliadas as características em 10 plantas por unidade experimental. Os dados foram analisados via ANOVA e as medias discriminadas pelo teste de Scott-Knott, ambos a  $P < 0.001$ , com pacote estatístico SAEG9.0 da Universidade Federal de Viçosa.



Anahuac-75

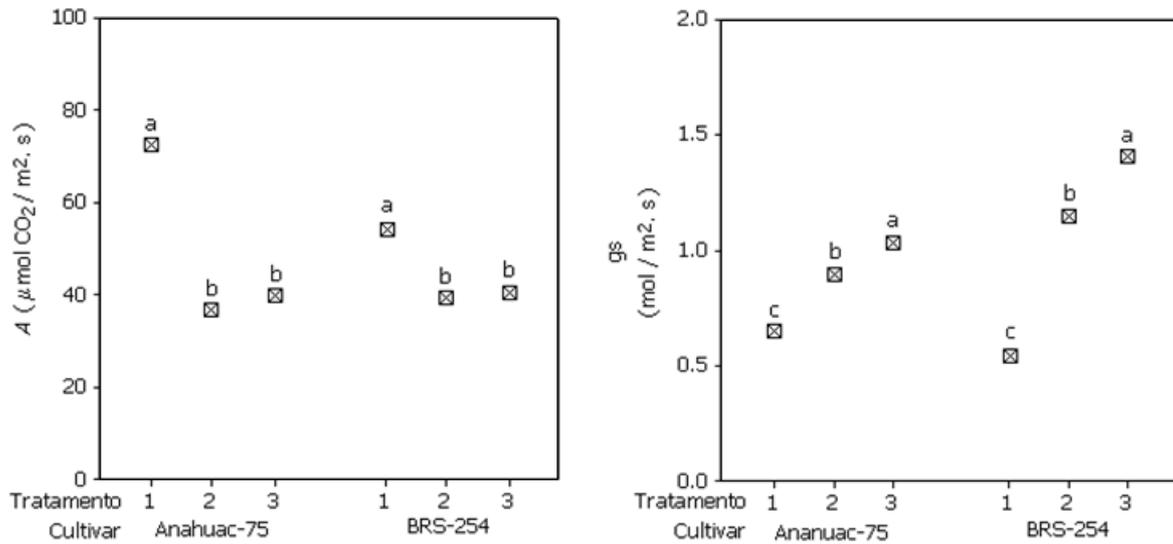
BRS-254

**Figura 1.** Escala de maturidade de espigas para a determinação do Índice de maturidade da Espiga de trigo para as cultivares Anahuac-75 e BRS-254.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

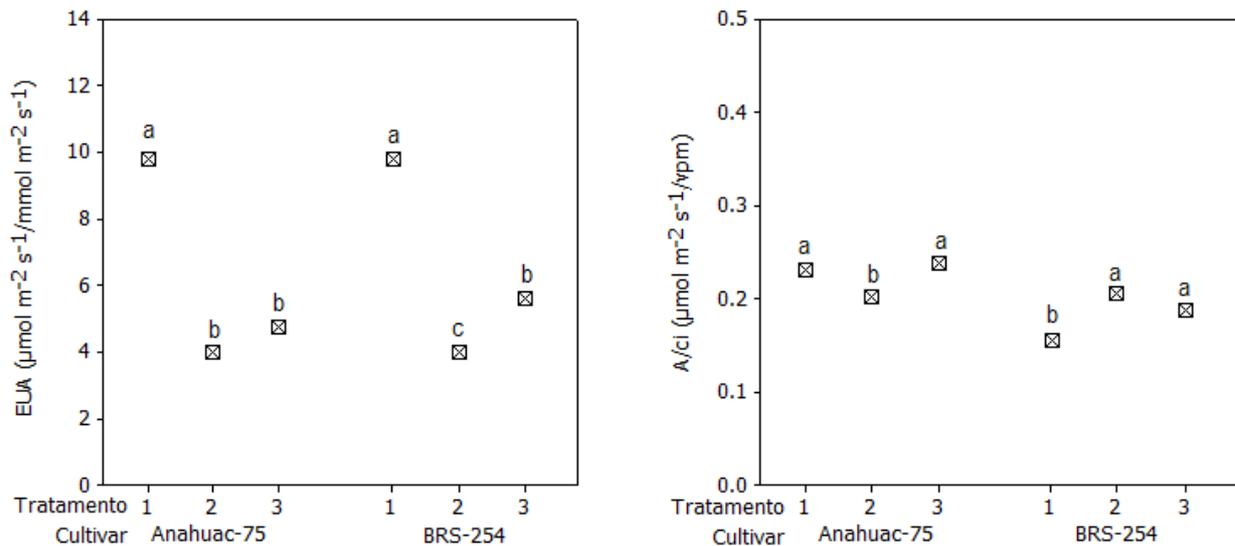
A fotossíntese líquida foliar foi estimulada significativamente maior no tratamento T1 versus os tratamentos T2 e T3. Nas cultivares Anahuac-75 e BRS-254 a *A* foi 1.9 e 1.4 vezes maior em T1 versus T3. A não foi diferente entre os tratamentos T2 e T3 ambas as cultivares, evidenciando que somente o enriquecimento com CO<sub>2</sub> do ambiente de crescimento influenciou positivamente no taxa fotossintética.

A condutância estomática (*gs*), representa o inverso das resistências a difusão do vapor de água pelo estômato para fora da folha (Larcher, 2000). Os valores de *gs* foram menores nas folhas de plantas sob enriquecimento com CO<sub>2</sub> mais elevada temperatura que em T2 e T3 (Fig.2), resultado da maior resistência das saída de vapor de água decorrente da maior concentração de CO<sub>2</sub> no meio externo à folha. A *gs* para o vapor de água se relaciona linearmente com a abertura dos estômatos e nas plantas submetidas a elevadas [CO<sub>2</sub>] os valores de *gs* diminuem, conseqüentemente, a transpiração também diminui, resultando em elevada eficiência no *UEA* instantânea (Fig. 3) (Larcher, 2000).



**Figura 2.** Fotossíntese líquida foliar (A) e condutância estomática (gs) em cultivares de trigo Anahuac-75 e BRS-254, sob 1 = elevadas temperatura e [CO<sub>2</sub>]; 2= elevada temperatura e [CO<sub>2</sub>] ambiente; 3= condições ambiente de temperatura e [CO<sub>2</sub>]. O símbolo ☒ representa a média de 40 plantas.

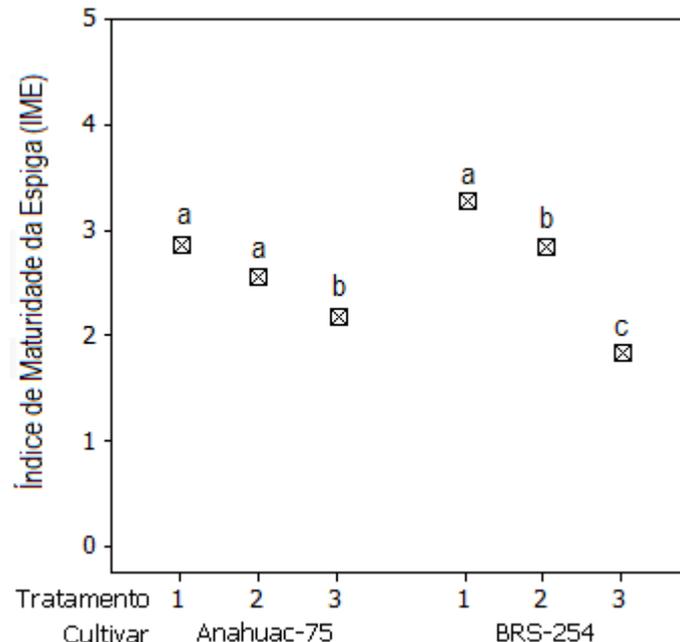
A eficiência de carboxilação instantânea ( $A/C_i$ ) na cultivar Anahuac-75 foi maior T1 e T3 versus T2 (Fig.3). Diferentemente, na cultivar BRS-254 o valor médio de T1 foi menor que T2 e T3. A relação  $A/C_i$  é uma medida da capacidade de trabalho das enzimas de carboxilação (Larcher, 2000). Entre as cultivares pode observar-se que a cultivar Anahuac-75 maior EC que a cultivar BRS-254, independente do tratamento. Estes maiores valores de EC na cultivar Anahuac-75 foram devido aos maiores valores de A e menores valores de  $C_i$ , medidos. A capacidade maior de carboxilação da cultivar Anahuac-75 a situa como promissora para a obtenção de genótipos altamente responsivos ao aumento da [CO<sub>2</sub>] como previsto para cenários futuros. Aparentemente, a carboxilação na cultivar BRS-254 foi mais afetada pelo tratamento T1. Esta resposta é coerente com o fato de que a interação de elevada temperatura e [CO<sub>2</sub>] pode ter efeitos negativos na atividade  $V_{Cmax}$  da Rubisco ou devido à diminuição da proteína solúvel e a própria Rubisco, decorrente dos efeitos da menor fotorrespiração (Bloom, 2009; Perez et al., 2014).



**Figura 3.** Uso eficiente da água (UEA) e Eficiência de carboxilação instantânea (EC) em cultivares de trigo Anahuac-75 e BRS-254, sob 1 = elevadas temperatura e [CO<sub>2</sub>]; 2= elevada temperatura e [CO<sub>2</sub>] ambiente; 3= condições ambiente de temperatura e [CO<sub>2</sub>]. O símbolo ☒ representa a média de 40 plantas. vpm=μmolCO<sub>2</sub>/mol.

O IME, permitiu estabelecer diferenças nos dias à maturação da espiga verificando-se aos 85 DAS que a maturação da espiga acontece mais cedo sob ambiente enriquecido com CO<sub>2</sub>. Se conclui que ambientes de futuro podem ser favoráveis para características fisiológicas do trigo relacionadas com a capacidade fotossintética e provocar encurtamento da maturação das espigas.

Conforme o IME encontrado para ambas as cultivares, pode evidenciar-se diferenças na maturação da espiga entre os tratamentos (Fig. 4). De maneira geral estabeleceu-se uma ordem de maturação T1<T2<T3, verificando que o aumento da temperatura e CO<sub>2</sub> reduziram os dias requeridos para a maturação da espiga, decorrente da maior oferta térmica e a maior concentração de CO<sub>2</sub> no ambiente de crescimento. Na data de avaliação (88 DAS) 31% e 21% das espigas da cultivar Anahuac-75 dos tratamentos T1 e T2, respectivamente, se encontravam mais perto da plena maturidade e menor proporção de espigas com grau leitoso, comparado com T3. Similar tendência foi encontrada na cultivar BRS-254 com 68% e 53% de espigas maduras dos tratamentos T1 e T2 versus T3. Diferenças entre T1 e T2, foram de 7.5% e 10.1% para as cultivares Anahuac-75 e BRS-254, porém, o aumento do IME foi significativo somente em BRS-254. O aumento no IME devido ao aumento da temperatura foi de 22% e 53% para as cultivares Anahuac-75 e BRS-254. Os resultados evidenciaram maior influência da elevação da temperatura no IME versus o aumento da [CO<sub>2</sub>], verificando-se o efeito positivo da maior disponibilidade de energia diária no encurtamento do ciclo nos tratamentos T1 e T2, como esperado, conforme houve maior acumulação de graus-dia. Entretanto, esse encurtamento do ciclo pode reduzir produtividade na medida que as temperaturas máximas sejam ≥30°C, particularmente durante a antese e enchimento do grão (Fischer, 1980; Porter et al., 1999; Shah e Paulsen, 2003, Asseng et al., 2011) e a aceleração da senescência foliar em temperaturas > 34oC (Asseng et al., 2011)



**Figura 4.** Índice de maturidade da espiga (IME) em cultivares de trigo Anahuac-75 e BRS-254, sob 1 = elevada temperatura e [CO<sub>2</sub>]; 2= elevada temperatura e [CO<sub>2</sub>] ambiente; 3= condições ambiente de temperatura e [CO<sub>2</sub>]. O símbolo □ representa a média de 40 plantas.

## CONCLUSÕES

Cultivares de trigo respondem de maneira similar, porém, em magnitudes diferentes aos efeitos da interação de elevadas temperatura e [CO<sub>2</sub>] previstos para cenários climáticos de futuro, e favorecer a capacidade fotossintética, eficiência fator de carboxilação, uso eficiente da água instantânea, e o encurtamento dos dias à maturação das espigas. A magnitude das respostas é altamente genótipo-dependente, tendo ao cultivar Anahuac-75 como o mais responsivo ao estímulo ambiental avaliado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alberto, C. M. et al. modelagem do desenvolvimento de trigo considerando diferentes temperaturas cardinais e métodos de cálculo da função de resposta à temperatura. pesquisa agropecuária brasileira, v. 44, n. 6, p. 545-553, 2009

Asseng, S., Foster, I. And Turner, N. C. (2011), The impact of temperature variability on wheat yields. Global Change Biology, 17: 997–1012. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02262.x

Bunce, J.A. The temperature dependence of the stimulation of photosynthesis by elevated carbon dioxide in wheat and barley. Journal of Experimental Botany 199849: 1555-1561.

Bloom, A.J. As carbon dioxide rises, food quality will decline without careful nitrogen management. California Agriculture • Volume 63, Number 2. 2009. 67-72.

Demmers-Derks, H., Mitchell, R.A.G., Mitchell, V.J. and Lawlor, D.W. Response of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield and biochemical composition to elevated CO<sub>2</sub> and temperature at two nitrogen applications. Plant, Cell and Environment 1998.21: 829-836.

Ferris R, Ellis R H, Wheeler T R and Hadley P 1998 Effect of high temperature stress at anthesis on



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

grain yield and biomass of field-grown crops of wheat Ann. Bot. 82 631–9



Fischer R A 1980 Influence of water stress on crop yield in semiarid regions Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress ed N C Turner and P J Kramer (New York: Wiley) pp 323–39

Fritschi, F.B., Boote, K.J., Sollenberger, L.E., Allen, Jr. L.H. and Sinclair, T.R. Carbon dioxide and temperature effects on forage establishment: photosynthesis and biomass production. Global Change Biology 1999.5: 441-453.

Larcher, W. Ecofisiologia vegetal. Tradução: Prado, C. H. B. A. São Carlos: Ed. Rima, 2006. 531p.

Pérez, P.; Alonso, A.; Zita1, G.; Morcuende, R; Martínez, R.C. Down-regulation of Rubisco activity under combined increases of CO2 and temperature minimized by changes in Rubisco kcat in wheat. Institute of Natural Resources and Agrobiology of Salamanca, IRNASA-CSIC, 2014. [http://digital.csic.es/bitstream/10261/50054/1/Perez\\_PGR\\_final.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/50054/1/Perez_PGR_final.pdf) (Acessado em 06/2015)

Porter J R and Gawith M 1999 Temperatures and the growth and development of wheat: a review Eur. J. Agron. 10 23–36 [11] Yin X, Kropff M J, McLaren G and Visperas R M 1995 A nonlinear model for crop development as a function of temperature Agric. For. Meteorol. 77 1–16

Shah N H and Paulsen G M 2003 Interaction of drought and high temperatures on photosynthesis and grain-filling of wheat Plant Soil 257 219–26

Taiz, L.; Zeiger, E. Fisiologia vegetal. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

Wheeler T R, Craufurd P Q, Ellis R H, Porter J R and Vara Prasad P V 2000 Temperature variability and the yield of annual crops Agric. Ecosyst. Environ. 82 159–67

Zhao H, Dai T B, Jing Q, Jiang D and Cao W X 2007 Leaf senescence and grain filling affected by post-anthesis high temperatures in two different wheat cultivars Plant Growth Regul. 51 149–58