

Parâmetros morfofisiológicos e rendimento de grãos do arroz em condições de incremento do CO₂ atmosférico

Morphophysiological parameters and grain yield of rice under conditions of increase of atmospheric CO₂

Keilor da Rosa Dorneles, Francine Zaiosc Simmi, Ihan Rebhahn, Kezia Aparecida Guidorizi, Leandro José Dallagnol

¹Departamento de Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

² Departamento de Fisiologia vegetal, Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

E-mail: keilor.rd@hotmail.com

Recebido em: 08/08/2018

Aceito em: 01/02/2019

Resumo: O arroz é um dos cereais mais cultivados no Brasil. O incremento de CO₂ atmosférico é uma das principais variáveis ambientais que podem afetar a produtividade das plantas cultivadas. Assim, o objetivo neste estudo foi avaliar os efeitos da elevação da concentração do CO₂ atmosférico sobre características morfofisiológicas e rendimento de grãos em dois genótipos de arroz no Sul do Brasil. Para tal, plantas de arroz das cultivares BRS Querência e Inov CL foram cultivadas sob duas concentrações de CO₂ (400 ou 700 ppm). As variáveis avaliadas foram trocas gasosas, alterações morfológicas e componentes de rendimento de grãos. Plantas cultivadas a 700 ppm de CO₂ apresentaram aumento na taxa fotossintética e na concentração interna de CO₂ e redução na condutância estomática de vapores de água e na taxa transpiratória. Nestas plantas ocorreu incremento na estatura, comprimento de raiz e massa seca da parte aérea e de raiz, em estágio vegetativo. No estágio reprodutivo, plantas cultivadas a 700 ppm de CO₂ apresentaram incremento na estatura e na massa seca de raiz. Em relação ao rendimento, ocorreu incremento no número de grãos por panícula, no peso de mil grãos, no peso por panícula e redução de grãos chochos. Assim, concluímos que o incremento na concentração de CO₂ atmosférica influencia no desempenho agrônomo do arroz cultivado no Brasil através de alterações fisiológicas, ganho de biomassa e no incremento do rendimento de grãos.

Palavras-chave: dióxido de carbono, open top chambers, mudanças climáticas, orizicultura

Abstract: Rice is one of the most cultivated cereals in Brazil. The increase of atmospheric CO₂ is one of the main environmental variables that can affect the yield of cultivated plants. Thus, the objective of this study was to evaluate the effects of elevation of the atmospheric CO₂ concentration on morphophysiological characteristics and grains yield of two rice genotypes in southern Brazil. For this purpose, rice plants of cultivars BRS Querência and Inov CL were grown under two concentrations of CO₂ (400 or 700 ppm). The variables evaluated were gas exchange, morphological changes and grain yield components. Plants grown at 700 ppm of CO₂ showed higher photosynthetic rate and the internal CO₂ concentration and lower stomatal conductance of water vapor and the transpiration rate. In these plants occurred increase in the height, root length and dry mass of the shoot and root, in vegetative stage. In the reproductive stage, occurred increase in the stature and dry mass of root. In regarding to yield, in plants grown at 700 ppm of CO₂ increased the number of grains per panicle, the 1000 grains weight, the weight per panicle and reduced the empty grains. Thus, we conclude that the increase in atmospheric CO₂ concentration influences the agronomic performance of rice cultivated in Brazil through physiological changes, biomass gain and grain yield increase.

Key words: carbon dioxide, open top chambers, climate changes, rice cultivation

Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, sendo a base alimentar para aproximadamente mais da metade da população mundial (SOSBAI, 2016), e acima de tudo, é a

cultura que apresenta maior potencial para o combate da fome no mundo (Darwin et al., 2005). Constitui-se como um dos cereais mais cultivados no mundo, ocupando a área aproximada de 158 milhões de hectares (SOSBAI, 2016). A importância do arroz é dada pelo seu bom



balanceamento nutricional, fornecendo 20% da energia e 15% da proteína per capita necessária ao homem, bem como por ser uma cultura extremamente versátil que se adapta a diferentes condições de solo e clima (CONAB, 2018).

No Brasil, a cultura do arroz ocupa a terceira posição, com um volume produzido de 11.600 milhões de toneladas na safra de 2017/18 (CONAB, 2018), ficando atrás apenas das culturas da soja e do milho. Esse volume corresponde ao primeiro lugar na América do Sul em relação à produção de arroz - seguido pelo Uruguai e Argentina - sendo a região Sul brasileira responsável por 80% da produção nacional. Porém, essa produção não é capaz de intitular o país como exportador desse cereal, devido não ser capaz inúmeras vezes de suprir a sua demanda interna entorno de 11.801 milhões de toneladas. Cada brasileiro consome, em média, 45 kg de arroz por ano, fato que o destaca como um grande consumidor ao nível da América Latina. Além disso, atualmente apenas 5% da produção nacional é destinada à exportação (CONAB, 2018).

Segundo a FAO (2018), a produção de arroz não vem acompanhando o crescimento do consumo, já que nos últimos seis anos a produção mundial aumentou cerca de 1,09% ao ano, enquanto a população cresceu 1,32% e o consumo 1,27%. Sendo assim, há uma grande preocupação em relação à estabilização da produção mundial já que, estimativas apontam, que até 2050 haverá uma demanda para atender ao dobro desta população (Kang et al., 2009).

Atualmente, o Brasil tem obtido ganhos significativos em produtividade devido à adoção de tecnologias modernas de cultivo e uso de cultivares com elevado potencial produtivo. Porém, há fatores que ainda limitam a expressão desse potencial, como as condições climáticas (CONAB, 2018).

Entre as variações climáticas, a concentração de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico se tornou uma problemática a ser estudado pela comunidade científica, devido ao seu constante aumento na concentração atmosférica, nos últimos dois séculos (Barnaby & Ziska, 2012; IPCC, 2014). Os resultados obtidos nas pesquisas têm demonstrado aumento na taxa de crescimento e produtividade das plantas, principalmente como consequência da

estimulação da fotossíntese (Barnaby & Ziska, 2012; Misra & Chen, 2015; Liu et al., 2017).

Estudos desenvolvidos em diversos países, indicam que o incremento na disponibilidade de CO₂ confere ganhos significativos de biomassa na cultura do arroz, aumento da produção e alterações na qualidade do grão produzido (Cheng et al., 2009; Zhu et al., 2014; Liu et al., 2017). Contudo, a resposta pela elevação do CO₂ difere entre os genótipos de arroz (Razzaque et al., 2011).

Diante disso, apesar da importância do arroz para o Brasil, ainda são limitadas as informações sobre o efeito do aumento da concentração do CO₂ em genótipos cultivados no país.

Assim, o objetivo nesse estudo foi avaliar o efeito do incremento na concentração do CO₂ atmosférico sobre características morfofisiológicas e rendimento de grãos em dois genótipos de arroz no Sul do Brasil.

Material e Métodos

Área experimental (open-top chambers, OTC) e cultivo do arroz

As cultivares de arroz BRS Querência (Embrapa) e Inov CL (Rice Tec) foram utilizadas no experimento. A semeadura foi realizada em vasos plásticos com capacidade 2 litros, contendo aproximadamente 1,6 kg de solo peneirado, que teve sua fertilidade química corrigida conforme as indicações técnicas para a cultura do arroz irrigado (SOSBAI, 2016), sendo na sequência, alocados em estufas de topo aberto (*open-top chambers*, OTC). Em cada vaso foram mantidas quatro plântulas de arroz.

As OTCs tinham formato quadrangular e estrutura de madeira (4 m² e 2 m de altura) com as laterais protegidas por filme plástico transparente de polietileno, espessura de 150 µm, com tratamento contra raios ultravioleta, e equipadas com um redutor de abertura do topo para deflexionar o ar e, assim, prevenir a diluição da concentração desejada de CO₂ dentro da estufa. A transferência do CO₂ puro contido no cilindro para os OTCs, ocorreu por uma tubulação até atingir o controlador de fluxo, que faz a regulação da quantidade de CO₂ distribuído em cada OTC. As concentrações de CO₂ utilizadas foram 400 ppm [considerada como atual no ambiente, de acordo com IPCC (2014) (teste controle)] e 700 ppm



[concentração prevista para no ano de 2050 (IPCC, 2014)] O monitoramento da concentração de CO₂ era efetuado semanalmente, usando o analisador de gás infravermelho portátil (LI-6400, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA). As OTCs estão situadas na área experimental do campus Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas, localizada na cidade de Capão do Leão/RS (latitude 31° 81' sul, longitude 52° 41' W. Gr.).

Delineamento experimental

Os tratamentos foram organizados em delineamento inteiramente casualizado. Para a quantificação dos parâmetros morfofisiológicos e de rendimento de grãos foi considerado o esquema fatorial, consistindo de duas cultivares de arroz em duas concentrações de CO₂ (400 e 700 ppm de CO₂), com cinco repetições, cada uma constituída por quatro plantas. O experimento foi repetido duas vezes.

Determinação dos parâmetros de trocas gasosas

Aos quarenta (40) dias após a sementeira (estágio fenológico V₇-V₈, conforme escala Counce, 2000), realizaram-se as determinações dos parâmetros de trocas gasosas na primeira folha do colmo principal de duas plantas de cada replicação. As medições foram conduzidas sob CO₂ ambiente (400 ± 1 mmol mol⁻¹) e com luz artificial (1.500 μmol de ftons m⁻² s⁻¹ no nível da folha). A taxa fotossintética líquida (*A*), a condutância estomática de vapores de água (*g_s*), concentração interna de CO₂ interno (*C_i*) e a taxa de transpiratória (*E*) foram medidas, usando o analisador de gás infravermelho portátil (LI-6400, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA). Durante as medidas fotossintéticas, os valores médios da temperatura do ar e da umidade relativa foram: 28 ± 2 °C e 68 ± 2%, respectivamente.

Avaliação dos parâmetros biométricos

Aos quarenta (40) e cem (100) dias após a sementeira (estágio fenológico, vegetativo V₇-V₈ e reprodutivo R₆-R₇, conforme escala Counce, 2000), realizaram-se as determinações dos parâmetros biométricos: estatura, comprimento de raiz, massa seca da parte aérea e raiz.

No estágio vegetativo, a estatura da planta, em centímetros, foi determinada através da mensuração da distância do nível do solo ao ápice da folha mais alta. O substrato contendo as raízes

foi cuidadosamente retirado do vaso e as raízes separadas do solo, lavadas e medidas com auxílio de uma régua para determinação do comprimento da raiz (CR), sendo a distância, medida em centímetros, entre a região de transição solo-parte aérea até a extremidade da raiz. A massa seca da parte aérea (MSA) e raiz (MSR) foram determinadas, a partir da secagem do material em estufa de circulação de ar forçado a 70 °C até peso constante, com auxílio de uma balança analítica com precisão de 0,01 g (modelo BL 3200H, Shimadzu).

No estágio reprodutivo, a estatura da planta, em centímetros, foi determinada através da mensuração da distância do nível do solo ao ápice da panícula. Ademais foram quantificadas a MSA e MSR. Foram utilizadas uma planta por repetição, totalizando cinco plantas por tratamento, para avaliação em cada estádio.

Componentes de rendimento

Os componentes de rendimento, determinados na fase de maturação fisiológica da cultura, foram: porcentagem de esterilidade de espiguetas, número e peso de grãos por panícula, peso de mil grãos, produção e o peso dos grãos chochos por planta.

A porcentagem de esterilidade de espiguetas (EP) é o número de grãos chochos em relação ao número total de grãos por panícula (média de cinco panículas por repetição). O número de grãos por panícula (GP) foi obtido pela média de contagem direta do número de grãos por panícula. O peso dos grãos por panícula (PP), em gramas, foi determinado através da mensuração da massa dos grãos da panícula com auxílio de uma balança analítica com precisão de 0,0001 g (modelo M124Ai, BEL Engineering).

O peso de mil grãos (PM), em gramas, foi obtido através da contagem manual de mil sementes em dez repetições de cem, e pesadas separadamente. A produção por planta e peso de grãos chochos por planta, foram obtidos pela trilha manual de todas as panículas de cada planta e realizada a separação dos respectivos, sendo o peso dos grãos cheios ou chochos determinados com balança de precisão de 0,0001 g (modelo M124Ai, BEL Engineering), após ajuste da umidade em 13%.

Análises dos dados



Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste *-t* no software SAS (SAS, Institute).

Resultados

Interação significativa entre os fatores cultivar e concentração de CO₂ não foi observada para nenhuma das variáveis avaliadas. O fator

cultivar foi significativo somente para *gs*, GP, PP, produção e no peso de grãos chochos por planta (Tabelas 1 e 2), independente da concentração do CO₂ atmosférico. O *gs* foi 19% maior na cultivar Inov CL, enquanto, o GP, PP, produção e chocho, foram menores em 37,0, 33,0, 17,0 e 28,0%, respectivamente, quando comparado a BRS Querência (Tabela 1 e 2).

Tabela 1. Taxa fotossintética (*A*), condutância estomática de vapores de água (*gs*), concentração interna de CO₂ (*C_i*), e taxa transpiratória (*E*) em plantas de arroz em estágio vegetativo, das cultivares BRS Querência e Inov CL cultivadas em ambiente com 400 ou 700 ppm de CO₂.

| Cultivar | <i>A</i> ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | <i>gs</i> ($\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$) | <i>C_i</i> ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) | <i>E</i> ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) |
|----------------------------------|--|--|--|---|
| BRS Querência | 27,95 a | 0,2076 b | 286,25 a | 5,66 a |
| Inov CL | 28,20 a | 0,2481 a | 290,75 a | 6,17 a |
| CV% | 15,0 | 10,4 | 18,0 | 12,0 |
| Concentrações de CO ₂ | | | | |
| 400 ppm | 26,33 b | 0,2350 a | 188,25 b | 6,28 a |
| 700 ppm | 29,81 a | 0,2207 b | 388,75 a | 5,55 b |
| Cv% | 13,19 | 13,25 | 9,27 | 11,09 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, para cultivares ou concentrações de CO₂, pelo teste-*t* ($p \leq 0,05$).

O fator concentração de CO₂ de maneira geral, foi significativo para os parâmetros de trocas gasosas, variáveis biométricas e de rendimento de grãos (Tabela 1 e 2) (Figura 1 e 2). Nas plantas à 700 ppm, a *A* e *C_i* aumentaram

13,0% e 51,6%, respectivamente, e a *gs* e *E* reduziram, 6,0% e 13,2% respectivamente, quando comparadas com plantas cultivadas a 400 ppm (Tabela 1).

Tabela 2. Porcentagem de esterilidade de espiguetas (EP), grãos por panícula (GP), Peso de mil grãos (PM), peso por panícula (PP), produção e grãos chocho por planta de arroz das cultivares BRS Querência e Inov CL cultivadas em ambiente enriquecido com CO₂.

| Cultivares | EP (%) | GP | PM (g) | PP (g) | Produçãog planta ⁻¹ | Chocho |
|----------------------------------|-----------|---------|-----------|-----------|---|--------|
| BRS Querência | 39,99 a | 84,12 a | 22,56 a | 2,09 a | 4,19 a | 0,63 a |
| Inov CL | 43,06 a | 52,75 b | 22,03 a | 1,39 b | 3,47 b | 0,45 b |
| CV% | 24,44 | 12,41 | 11,47 | 14,32 | 16,34 | 19,71 |
| Concentrações de CO ₂ | | | | | | |
| 400 ppm | 44,62 a | 65,68 b | 21,21 b | 1,69 b | 3,14 a | 0,58 a |
| 700 ppm | 38,43 a | 72,18 a | 23,38 a | 1,79 a | 4,02 a | 0,52 b |
| CV% | 23,44 | 17,13 | 10,68 | 20,68 | 15,39 | 25,89 |

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de *t* ($p \leq 0,05$).

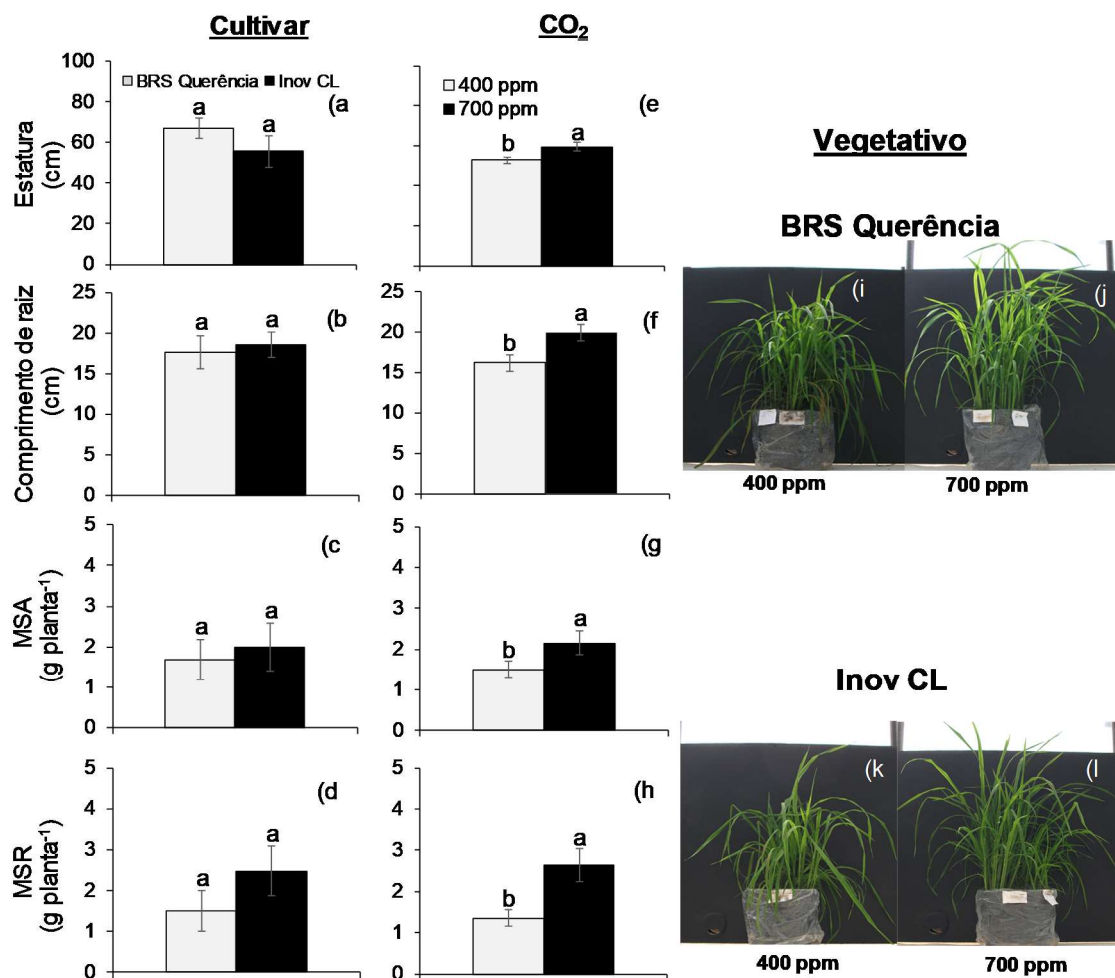


Figura 1. Estatura, comprimento de raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSA) e raiz (MSR) em estágio vegetativo, 40 dias após a semeadura de plantas de arroz das cultivares BRS Querência e Inov CL cultivadas em ambiente com 400 ou 700 ppm de CO₂. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, para cultivares ou concentrações de CO₂, pelo teste-*t* ($p \leq 0,05$).

Para os parâmetros biométricos, em estágio vegetativo, a 700 ppm, ocorreu aumento de 13,0, 23,0, 43,0 e 95,0%, respectivamente, para estatura, CR, MSA e MSR, quando comparado com plantas a 400 ppm (Figura 1). Enquanto, no estágio reprodutivo, a estatura e MSR, aumentaram, respectivamente em 6,0% e 97,0% a

700 ppm, quando comparado com plantas a 400 ppm (Figura 2).

Para os componentes de rendimento, plantas à 700 ppm, a PM, GP e PP aumentaram 10,0, 9,0 e 6,0% respectivamente, e o peso de grãos chocho reduziu, 10,0% quando comparadas com plantas cultivadas a 400 ppm (Tabela 2).

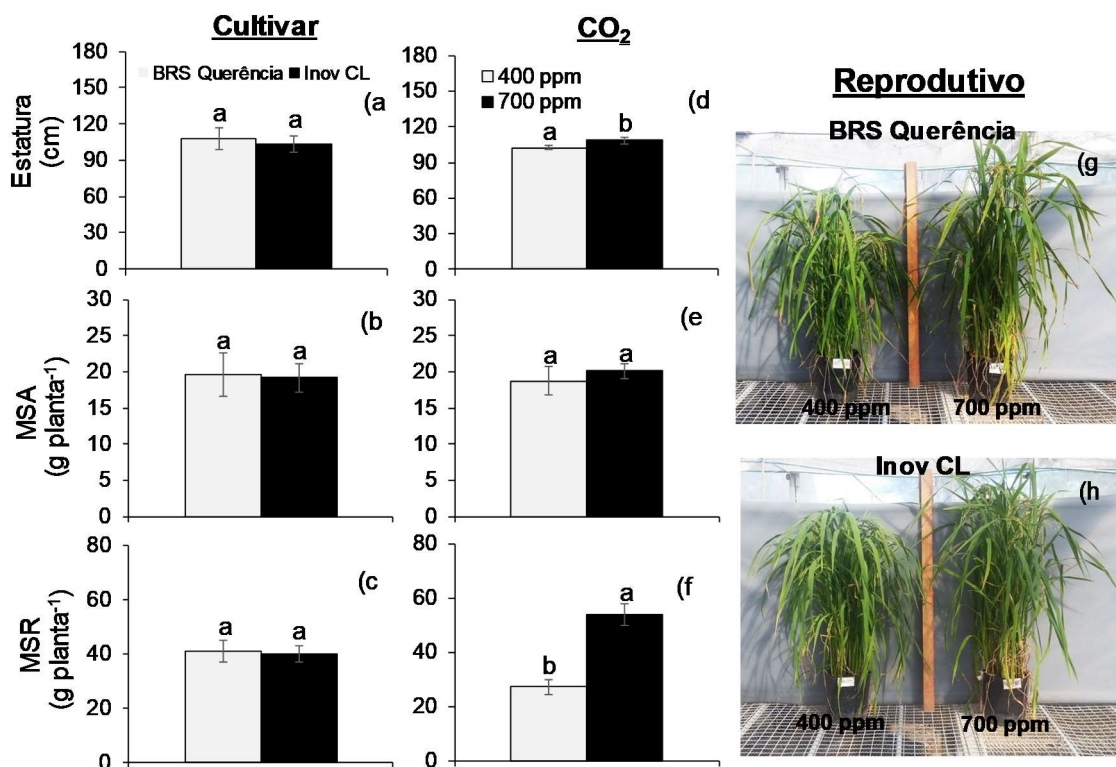


Figura 2. Estatura, massa seca da parte aérea (MSA) e raiz (MSR) em estágio reprodutivo, 40 dias após a semeadura de plantas de arroz das cultivares BRS Querência e Inov CL cultivadas em ambiente com 400 ou 700 ppm de CO₂. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, para cultivares ou concentrações de CO₂, pelo teste-*t* ($p \leq 0,05$).

Discussão

Neste estudo foi demonstrado que os dois genótipos de arroz, quando cultivados sob condições de elevação da concentração de CO₂ atmosférico, apresentam, tanto em estágio vegetativo como reprodutivo, alterações que afetam suas características morfofisiológicas e de produção.

Esses efeitos demonstram a importância e a influência da concentração do CO₂ para planta, uma vez que o CO₂ atmosférico é substrato para a fotossíntese, processo no qual as plantas transformam a energia luminosa em energia química, sintetizando compostos carbonados, os quais serão utilizados em diversos processos do metabolismo vegetal (Barnaby & Ziska, 2012). Dessa forma, o incremento de CO₂ atmosférico, resulta no aumento da taxa fotossintética das folhas, devido à alta concentração de CO₂ no sítio ativo da ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase (Rubisco). Decorrente disto ocorre o fechamento parcial dos

estômatos e redução da condutância estomática diminuindo a perda de água por transpiração (Ainsworth & Rogers, 2007). De fato, em nosso estudo, plantas de arroz a 700 ppm de CO₂ apresentaram aumento na taxa fotossintética e na concentração interna de CO₂ e redução da condutância estomática e da taxa transpiratória.

Como consequências das alterações fisiológicas proporcionadas pela elevação do CO₂ atmosférico, tem-se, por exemplo, o aumento no crescimento e ganho de biomassa da planta (Xu et al., 2015). Esse efeito foi observado nas cultivares de arroz BRS Querência e Inov CL, onde o aumento na concentração de CO₂ promoveu o aumento da estatura da planta, comprimento de raiz, e da massa seca da parte aérea e radicular das plantas na presente pesquisa, principalmente no estágio vegetativo.

Contudo, estudos com arroz, trigo e tomate apontam que o ganho de biomassa durante o ciclo da cultura que cresce em elevada concentração de CO₂, tende a variar conforme o



estágio fenológico (Razzaque et al., 2011; Zhang et al., 2014; Pandev et al., 2017). Isto ocorre pelo fato que os fotoassimilados tendem a ser alocados em novos compartimentos que passam ser prioritário para a planta, como os órgãos reprodutivos. Este efeito foi demonstrado pelo estudo de YANG et al. (2006), no qual os autores observaram variação no ganho de biomassa total em plantas de arroz em relação as em condições ambientais, com valores de 40, 30, 22, 26 e 16% entre os estágios de perfilhamento, iniciação da panícula, florescimento, enchimento de grãos e maturação fisiológica, respectivamente, na média de três anos de experimentos FACE (*Free-air CO₂ enrichment*).

Essa mesma tendência também foi observada no presente estudo, em que, mesmo ocorrendo ganho na estatura e no peso de matéria seca da parte aérea, os incrementos nestas variáveis pela fertilização com o CO₂ foram menores no estágio reprodutivo, em relação ao vegetativo, independente da cultivar.

Entretanto, no estágio reprodutivo, a elevação do CO₂ para 700 ppm, além de reduzir o volume de grãos chochos, também incrementou o rendimento de grãos por meio do aumento do número de grãos por panícula, peso de mil de grãos e por panícula. Dessa forma, inferimos que a redução do ganho de biomassa, esteja atribuído pela ocorrência de alocação dos fotoassimilados em órgãos reprodutivos, aumentando o número e o peso dos grãos por panícula.

Resultado semelhante foram observados por Zhu et al. (2014) e Rosalin et al. (2018), que verificaram aumento no número de grãos por panícula e no peso de mil de grãos em plantas de arroz submetidas a concentrações de 500 a 600 ppm de CO₂.

Essas variáveis, que compõem os componentes de rendimento, quando sumarizadas, representam a produção final de grãos (Yang et al., 2006). Todavia, surpreendentemente, em nosso estudo, mesmo havendo aumento nas variáveis de rendimento, acabou não resultando em aumento significativo na produção, como mencionado em outra pesquisa (Zhu et al. 2014). Estudos em FACE, ou em OTC tem demonstrado que a produção de arroz aumenta em resposta ao CO₂, porém, abaixo do esperado, devido a ocorrência de fatores como: aclimatação da fotossíntese, deficiência nutricional e resposta

varietal (Chen et al., 2005; Rosalin et al., 2018). JENA et al. (2018) observaram que cultivares de arroz sob alto CO₂ e adubação acima do recomendado de nitrogênio, produziram mais que plantas apenas sob CO₂ e adubação padrão. Levando os a concluir, que, as de plantas arroz, necessitam de taxas maiores de adubação, para manter o impulso em seus processos fisiológicos, como: na produção, translocação e acúmulo de fotoassimilados estimulados pelo CO₂.

Assim, pode-se afirmar que a elevação da concentração de CO₂ atmosférica influencia no desempenho agrônomico das cultivares de arroz BRS Querência e Inov CL, através de alterações fisiológicas, ganho de biomassa e no rendimento de grãos.

Entretanto, o incremento no rendimento do arroz, em condições futuras, continua a ser uma questão de debate. Devido que no ambiente além do CO₂, existem outros fatores, como temperatura, índices pluviométricos e fertilidade do solo, os quais interagem entre si, podendo ter implicações importantes para a produção e a qualidade do arroz (Abdelgawad et al., 2016). Dessa forma, fica evidente a complexidade dos estudos que buscam prever situações futuras para agricultura mundial.

Conclusão

O aumento na concentração do CO₂ atmosférico de 400 ppm para 700 ppm, influencia o desempenho agrônomico das cultivares de arroz BRS Querência e Inov CL através de incremento na taxa fotossintética, no ganho de biomassa e no rendimento de grãos.

Agradecimentos

CAPES pela concessão de bolsa ao primeiro autor. Ao CNPq pelo financiamento (400897 / 2014-8). Ao prof. L. A. Avila por conceder as OTCs para realização do estudo.

Referências

ABDELGAWAD, H.; ZINTA, G.; BEEMSTER, G. T.; JANSSENS, I. A.; ASARD, H. Future climate CO₂ levels mitigate stress impact on plants: increased defense or decreased challenge?. *Frontiers in Plant Science*, v.2, p.556, 2016.

AINSWORTH, E. A.; ROGERS, A. The response of photosynthesis and stomatal conductance to



rising (CO₂): mechanisms and environmental interactions. **Plant, Cell and Environment**, v.30, p. 258-270, 2007.

BARNABY, J. Y.; ZISKA, L. H. **Plant responses to elevated CO₂**. Chichester: eLS. John Wiley & Sons. 10, 2012.

CHEN, G. Y.; YONG, Z. H.; LIAO, Y.; ZHANG, D. Y.; CHEN, Y.; ZHANG, H. B.; CHEN, J.; ZHU, J. G.; XU, D. Q. Photosynthetic acclimation in rice leaves to free-air CO₂ enrichment related to both ribulose-1,5-bisphosphate carboxylation limitation and ribulose-1,5-bisphosphate regeneration limitation. **Plant Cell Physiology**, v. 46, n. 7, p.1036-1045, 2005.

CHENG, W.; SAKAI, H.; YAGI, K.; HASEGAWA, T. Interactions of elevated (CO₂) and night temperature on rice growth and yield. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, p. 51-58, 2009.

CONAB, **Companhia Nacional de Abastecimento**. A cultura do arroz. Brasília-DF: Conab, 2018. Disponível em: https://www.conab.gov.br/outras/item//2523_efd93e8f0302a6d4f9cefc6. Acesso em 10/05/2018.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. A Uniform and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science**, v. 40, p. 436-443, 2000.

DARWIN, R.; TSIGAS, M.; LEWANDROWSKI, J.; RANESES, A. **World agriculture and climate change: economic adaptation**. USDA Agricultural Economic Report, n. 703. 2005. 86 p.

FAO - Food and Agriculture Organization of The United Nations . **Previsão de aumento da produção do arroz em 2015**. <https://www.fao.org.br/papt2013.asp>. Acessado em: 11 abr. 2018.

IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014: **Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151p.

JENA, U. R.; SWAIN, D. K.; HAZRA, K. K.; MAITI, M. K. Effect of elevated (CO₂) on yield, intra-plant nutrient dynamics, and grain quality of rice cultivars in eastern India. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 98, p. 5841-5852, 2018.

KANG, Y.; KHAN, S.; MA, X. Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security – A review. **Progress in Natural Science**, v. 19, n.12, p. 1665-1674, 2009.

LIU, S.; WAQAS, M. A.; WANG, S. H.; XIONG, X. Y.; WAN, Y. F. Effects of increased levels of atmospheric CO₂ and high temperatures on rice growth and quality. **Plos One**, v. 12, n. 11. 2017.

MISRA, B. B.; CHEN, S. Advances in understanding CO₂ responsive plant metabolomes in the era of climate change. **Metabolomics**, v. 11, p. 1478–1491, 2015.

PANDEY, V.; SHARMA, M.; DEEBA, F.; MAURYA, V. K.; GUPTA, S. K.; SINGH, S. P. MISHRA, A.; NAUTIVAL, C. S. Impact of elevated CO₂ on wheat growth and yield under free air CO₂ enrichment. **American Journal of Climate Change**, v. 6, n. 4, p. 573-596, 2017

RAZZAQUE, M. A.; HAQUE, M. M.; KHALIQ, Q. A.; SOLIMAN, A. R. M.; HAMID, A. Effect of CO₂ and nitrogen levels on yield and yield attributes of rice cultivars, **Journal of Agricultural Research**, v. 36, p. 213-221, 2011.

ROSALIN, B. P.; PASUPALAK, S.; BALIARSINGH, A. Effect of elevated carbon dioxide (eCO₂) on yield and yield components of different rice cultivars in Odisha. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**. v. 7, n. 1, p. 1398-1400, 2018.

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: SOSBAI, 2016. 200 p.

XU, Z.; JANG, Y.; ZHOU, G. Response and adaptation of photosynthesis, respiration, and antioxidante systems to elevated CO₂ with

[Digite aqui]



Revista Agrarian

ISSN: 1984-2538

environmental stress in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 701, 2015.

YANG, L.; HUANG, J.; YANG, H.; DONG, G.; LIU, G.; ZHU, J.; WANG, Y. Seasonal changes in the effects of free-air CO₂ enrichment (FACE) on dry matter production and distribution of rice (*Oryza sativa* L.). **Field Crops Research**, v. 98, p.12-19, 2006.

ZHANG, Z.; LIU, L.; ZHANG, M. Effect of carbon dioxide enrichment on health promoting compounds and organoleptic properties of tomato fruits grown in greenhouse, **Food Chemistry**, v. 153, p. 157-163, 2014.

ZHU, C.; ZHU, J.; CAO, J.; JIANG, Q.; LIU, G.; ZISKA, L. H. Biochemical and molecular characteristics of leaf photosynthesis and relative seed yield of two contrasting rice cultivars in response to elevated (CO₂). **Journal of Experimental Botany**, v. 65, p. 1535–1544, 2014.