

CENÁRIOS COM CO₂ NO DESENVOLVIMENTO E FISIOLOGIA DE PLANTAS DE SOJA

NATANIELE BARROS SCHAUN¹; LUANA VANESSA P. MINELLO²; EDINALVO RABAIOLI CAMARGO³ CLÁUDIA PEDRO MAGAMBA⁴; JOSÉ R. FABRES DE OLIVEIRA⁵; FILIPE SELAU CARLOS⁶

¹*Universidade Federal de Pelotas – natanielebs17@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – lvpminello@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – edinalvo.camargo@yahoo.com.br*

⁴*Universidade Federal de Pelotas – cpmagamba@gmail.com*

⁵*Universidade Federal de Pelotas – eng.agro.fabres@gmail.com*

⁶*Filipe Selau Carlos – filipeselaukarlos@hotmail.com*

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o mundo vem sofrendo grandes transformações quanto às variações climáticas, no qual, tem provocado alterações nas condições meteorológicas. As concentrações atmosféricas de CO₂ aumentaram para níveis maiores dos valores observados no período pré-industrial, onde, projeções indicam que até o ano de 2100, os níveis de CO₂ devem ultrapassar os 550 ppm (IPCC, 2021).

O CO₂ é considerado um dos principais gases contribuintes para o efeito estufa (GEE), na qual, retém parte do calor irradiado pela Terra que retornaria ao espaço, fazendo com que ocorra um aquecimento no planeta, essencial para a existência de vida na Terra (NAZ et al., 2022). Acredita-se que os altos níveis de GEEs, podem proporcionar uma maior eficiência na fotossíntese das plantas por ocasionar mudanças na fisiologia, principalmente, devido às alterações que ocorrem na dinâmica do carbono orgânico.

O aumento da concentração de CO₂, intensifica a fixação de carbono pela enzima Rubisco, elevando o fluxo de carbono das plantas para o solo, e assim, favorece a regulação da biomassa, o crescimento e rendimento das culturas, além de aumentar a produção de matéria seca por favorecer a atividade da enzima Carboxilase (XU et al., 2016).

Embora o CO₂ elevado possa aumentar a fotossíntese e a biomassa, ele também reduz a transpiração e o transporte de água e nutrientes. Isso pode resultar em sementes com maior volume, porém com qualidade nutricional inferior. Assim, este trabalho teve como objetivo investigar como a elevação da concentração de CO₂, em associação a diferentes doses de fósforo, influencia a fisiologia, o crescimento e o rendimento de plantas de soja, visando compreender o comportamento das plantas em cenários de mudanças climáticas.

2. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em câmara superior aberta (OTC), localizado na Universidade Federal de Pelotas, Campus Capão do Leão, (-52.4487 31° 46'3" S, 52° 26' 55" O). As câmaras possuem estrutura feita de madeira, com dimensões de 2,50 m de largura e 2,30 m de profundidade e 2,00 m de altura, cobertas com plástico de 150 µm. Foi utilizado um sistema programado para monitorar e ajustar a cada 30 segundos a concentração de CO₂ no ambiente (REFFATTI, 2019), onde também, foi registrado diariamente a temperatura e a umidade de cada OTC.

Foram utilizadas sementes de soja da cultivar TMG 7260. As sementes foram semeadas em vasos de 20 litros, contendo solo coletado na camada de 0 a 20cm, na qual, foi seco ao ar livre e peneirado.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, em um arranjo fatorial (3x2) com 4 repetições. O fator 1 consistiu em 3 doses de fósforo (P_2O_5): 0, 90 e 180 ($Kg.ha^{-1}$) e o fator 2 em dois níveis de CO_2 : 450 ± 50 ppm (ambiente) e 700 ± 50 ppm (elevada concentração).

As avaliações fisiológicas C_i e gs foram realizadas com analisador portátil de trocas gasosas CIRAS-4 (PP Systems, UK). Foram feitas quatro leituras por vaso em folhas completamente expandidas do terço médio, sem danos aparentes. Antes de cada leitura o equipamento foi calibrado conforme o manual do fabricante.

O comprimento da parte aérea (CPA) e raiz (CR) foram determinados ao final do ciclo da cultura com o auxílio de uma trena graduada. O CPA foi medido do colo da planta até o ápice do caule, e o CR do colo até a extremidade da raiz principal. Os resultados foram expressos em centímetros (cm).

O PMS foi determinado pela pesagem de oito repetições de 100 sementes por tratamento, utilizando-se uma balança analítica. O valor médio obtido foi multiplicado por 10 para a determinação do peso de mil sementes, expresso em gramas (g).

A análise estatística foi realizada no software R (versão 4.4.0; R Core Team, 2024). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em esquema fatorial 3x2. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a tabela 1, o aumento na concentração de CO_2 elevou significativamente o C_i em todas as doses de P. Isso indica maior disponibilidade de carbono para a fotossíntese, como já relatado por ZHENG et al. (2019), que destacam que CO_2 elevado aumenta a taxa de assimilação de carbono pelas plantas. De maneira geral, o aumento das doses de P reduziu levemente o C_i , possivelmente pela maior eficiência fotossintética e uso mais rápido do carbono fixado

Tabela 1: Carbono interno (C_i) ($\mu mol mol^{-1}$) das plantas de soja avaliadas no estádio vegetativo V1–V2 em função das doses de fósforo e ambientes de CO_2 .

Doses de P_2O_5 ($kg ha^{-1}$)	[CO_2] 400 ± 50 ppm	[CO_2] 700 ± 50 ppm
0	$355,66 \pm 25,03$ Ba	$448,09 \pm 11,01$ Aa
90	$333,24 \pm 12,42$ Ba	$378,99 \pm 7,57$ Aa
180	$322,23 \pm 8,24$ Bb	$382,73 \pm 21,18$ Aa

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre doses de P_2O_5 (Tukey, $p \leq 0,05$). Letras maiúsculas na linha comparam os ambientes de CO_2 na mesma dose.

Conforme os resultados da tabela 2, a gs aumentou com a maior concentração de CO_2 , no entanto, esses resultados são contraditórios referente a maioria dos estudos, que relatam que o CO_2 elevado reduz a gs , pois as plantas tendem a otimizar a entrada de carbono diminuindo a perda de água (DORNELES et al., 2018). Entretanto, neste estudo o aumento da gs pode estar ligado à interação com fósforo, que melhorou o metabolismo fotossintético e “demandou” maior abertura estomática para sustentar o maior fluxo de CO_2 e nutrientes.

Tabela 2: Condutância estomática (gs) (mmol H₂O m⁻² s⁻¹) das plantas de soja avaliadas no estádio vegetativo V1–V2 em função das doses de fósforo e ambientes de CO₂.

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	[CO ₂] 400 ± 50 ppm	[CO ₂] 700±50 ppm
0	266,13 ± 7,05 Ba	345,92 ± 2,20 Aa
90	97,50 ± 4,11 Bb	435,93 ± 15,32Aa
180	113,66 ± 7,86 Bb	410,04 ± 49,69 Aa

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre doses de P₂O₅ (Tukey, p≤0,05). Letras maiúsculas na linha comparam os ambientes de CO₂ na mesma dose.

Os resultados para peso de mil sementes (PMS) estão descritos na tabela 3. O CO₂ elevado ocasionou uma redução, para todas as doses avaliadas, no PMS. Isso pode ser explicado pela maior produtividade em biomassa sob CO₂ elevado que foi observado e avaliado durante o experimento pela maior matéria seca e também pela maior altura de plantas (tabela 4), mas com redução na qualidade de enchimento das sementes, possivelmente pela diluição de nutrientes, conforme também relatado por MYERS et al., (2014).

Tabela 3: Peso de mil sementes (PMS) das plantas de soja em função das doses de fósforo e ambientes de CO₂.

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	[CO ₂] 400 ± 50 ppm	[CO ₂] 700±50 ppm
0	165,00 ± 3,98 Aa	120,47 ± 6,81 Bb
90	174,37 ± 5,85 Aa	132,10 ± 8,77 Bab
180	176,03 ± 17,86 Aa	140,56 ± 3,11 Ba

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre doses de P₂O₅ (Tukey, p≤0,05). Letras maiúsculas na linha comparam os ambientes de CO₂ na mesma dose.

Conforme a tabela 4, os resultados demonstraram que o aumento do CO₂ estimulou o crescimento vegetativo, independentemente da dose de fósforo. Isso pode ter ocorrido pelo aumento da taxa fotossintética, ou seja, mais carbono assimilado disponível para expansão celular e alongamento do caule.

Tabela 4: Comprimento da parte aérea (cm) das plantas de soja avaliadas no final do ciclo reprodutivo em função das doses de fósforo e ambientes de CO₂.

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	[CO ₂] 400 ± 50 ppm	[CO ₂] 700±50 ppm
0	82,12 ± 8,38 Ba	108,87 ± 5,57 Aa
90	69,00 ± 7,28 Ba	115,25 ± 5,56 Aa
180	74,62 ± 4,80 Ba	121,00 ± 9,48 Aa

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre doses de P₂O₅ (Tukey, p≤0,05). Letras maiúsculas na linha comparam os ambientes de CO₂ na mesma dose.

O comprimento da raiz (tabela 5), mostrou pouca resposta ao aumento de CO₂, exceto na dose intermediária de P, sugerindo que o enriquecimento de carbono foi direcionado para o crescimento vegetativo (tabela 4). Esses resultados contrastam com os observados por SULIVAN et al. (2020), que relataram um aumento no sistema radicular em resposta ao incremento de CO₂ (800 ppm) em plantas de feijão, no entanto, não foi observado diferença para a parte aérea. A

baixa resposta ao fósforo sugere que a disponibilidade do nutriente não foi fator limitante para o crescimento radicular.

Tabela 5: Comprimento da raiz (cm) das plantas de soja avaliadas no final do ciclo reprodutivo em função das doses de fósforo e ambientes de CO₂.

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	[CO ₂] 400 ± 50 ppm	[CO ₂] 700±50 ppm
0	16,75 ± 5,75 Aa	17,25 ± 3,27 Aa
90	16,50 ± 3,02 Ba	21,37 ± 1,18 Aa
180	16,12 ± 2,59 Aa	17,12 ± 2,56 Aa

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre doses de P₂O₅ (Tukey, p≤0,05). Letras maiúsculas na linha comparam os ambientes de CO₂ na mesma dose.

4. CONCLUSÕES

O estudo evidencia a inovação de avaliar a interação entre CO₂ elevado e da adubação fosfatada como estratégia para o manejo sustentável da soja frente aos cenários de mudanças climáticas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. **Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press (2021).
- DORNELES, Keilor da Rosa; POSSO, Douglas Antônio; REBHAHN, Ilan; DEUNER, Sidnei; PAZDIORA, Paulo Cesar; AVILA, Luis Antonio de; DALLAGNOL, Leandro José. Respostas morfológicas e rendimento de grãos do trigo mediados pelo aumento da concentração de CO₂ atmosférico. **Revista Agrária Acadêmica**, Recife, v. 1, n. 4, p. 60-74, 2018.
- MYERS, S. S. et al. Increasing CO₂ threatens human nutrition. **Nature**, v. 510, p. 139–142, 2014.
- NAZ, S., FATIMA, Z., IQBAL, P., KHAN, A., ZAKIR, I., ULLAH, H., ABBAS, G., AHMED, M., MUBEEN, M., HUSSAIN, S., AHMAD, S. An introduction to climate change phenomenon. Building Climate Resilience in Agriculture: Theory, **Practice and Future Perspective**, p. 3-16, 2022.
- REFFATTI, J. P.; ÁVILA, L. A.; CAMARGO, E. R.; ZISKA, L. H.; OLIVEIRA, C.; SALAS-PEREZ, R.; ROUSE, C. E.; ROMA-BURGOS, N. High [CO₂] and temperature rise resistance to Cyhalofop-Butyl in multiple herbicide-resistant *Echinochloa colona*. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 529, 2019.
- SULLIVAN, O.; JAMES B.; JIN, JIAN; TANG, CAIXIAN. Elevated CO₂ promotes phosphorus acquisition in agricultural species, differing in phosphorus acquisition physiological mechanisms. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 455, p. 397-408, 2020.
- XU, G.; SINGH, S. K.; REDDY, V. R.; BARNABY, J. Y.; SICHER, R. C.; LI, T. Soybean grown under elevated CO₂ benefits more under low temperature than high temperature stress: Varying response of photosynthetic limitations, leaf metabolites, growth, and seed yield. **Journal of Plant Physiology**, v. 205, p. 20–32, 2016.
- ZHENG, GUOWEI; CHEN, JIA; LI, WEIQI. Impacts of CO₂ elevation on the physiology and seed quality of soybean. **Plant Diversity**, [S. l.], v. 41, n. 5, p. 349-354, 2019.