

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 13/07/2020.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ ATMOSFÉRICO E
SEUS EFEITOS NA INTERAÇÃO PLANTA
DANINHA/CULTURA DA SOJA**

**Jucileia Irian dos Santos
Engenheira Agrônoma**

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ ATMOSFÉRICO E
SEUS EFEITOS NA INTERAÇÃO PLANTA
DANINHA/CULTURA DA SOJA**

Jucileia Irian dos Santos

**Orientador: Prof. Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves
Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Martinez y Huaman**

**Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Produção
Vegetal)**

2018

S237a

Santos, Jucileia Irian dos

Aumento da concentração de CO2 atmosférico e seus efeitos na interação planta daninha/cultura da soja / Jucileia Irian dos Santos. -- Jaboticabal, 2018
92 p. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Pedro Luis da Costa Aguiar Alves

Coorientador: Carlos Alberto Martinez y Huaman

1. 1. Incremento de CO2 atmosférico. 2. Mudança climática. 3. Interferência. 4. Perfil metabólico de plantas daninhas. 5. Absorção de nutrientes. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ ATMOSFÉRICO E SEUS EFEITOS NA INTERAÇÃO PLANTA DANINHA/CULTURA DA SOJA

AUTORA: JUCILEIA IRIAN DOS SANTOS

ORIENTADOR: PEDRO LUÍS DA COSTA AGUIAR ALVES

COORIENTADOR: CARLOS ALBERTO MARTINEZ Y HUAMAN

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. PEDRO LUÍS DA COSTA AGUIAR ALVES
Diretoria / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. RAFAEL DE PRADO
Universidad de Córdoba / Espanha

Prof. Dr. LEONARDO BIANCO DE CARVALHO
Departamento de Fitossanidade / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Profa. Dra. PRISCILA LUPINO GRATÃO
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Pesquisadora Dra. NÚBIA MARIA CORREIA
Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças / EMBRAPA - Brasília/DF

Jaboticabal, 13 de julho de 2018

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

JUCILEIA IRIAN DOS SANTOS – nascida em 17 de março de 1990, na cidade de Maringá, Estado do Paraná, Brasil, filha de Erci Rodriguês Nascimento Santos e Ari dos Santos. Graduiu-se em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá – UEM, Câmpus Regional de Umuarama, no ano de 2012. Atuou em pesquisa na área de fitotecnia, com culturas para produção de biodiesel. Durante a graduação realizou estágio no laboratório de Fitotecnia da UEM Umuarama, no Departamento de Agricultura da UNESP Botucatu e no Departamento de Produção Vegetal na UNESP Jaboticabal. Em 2013, iniciou seu mestrado em Produção Vegetal na Universidade Estadual Paulista – UNESP, com bolsa-sanduíche Capes realizada na Universidade de la Republica – UDELAR/Facultad de Agronomia, Uruguai, por três meses. Em 2015, ingressou no curso de doutorado pela UNESP, sendo bolsista FAPESP por 2 anos. Desde 2013 atua em pesquisa na área da biologia e manejo de plantas daninhas. Nos últimos anos tem participado de eventos científicos nacionais e internacionais na sua área de atuação, bem como da organização de eventos nacionais. A autora também publicou artigos científicos em revistas nacionais e internacionais e orientado alunos de graduação, participado de bancas de TCC.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde e força.

Aos meus pais Ari dos Santos e Erci Rodrigues do Nascimento Santos, que sempre me apoiaram, acreditaram em mim e me ensinaram os valores da vida.

Ao meu noivo e grande companheiro Eder Wagatsuma por toda amizade, companheirismo e apoio sempre.

Aos meus avós Antônio Vitor do Nascimento e Mauro Rodrigues do Nascimento, por todo amor e carinho.

Ao prof. Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves, pela orientação, amizade e paciência dispensada ao longo dessa jornada.

Ao prof. Dr. Carlos Alberto Martinez y Huaman da FFCLRP-USP Ribeirão Preto, pela co-orientação, ensinamentos e por disponibilizar a estruturas das OTCs para realização desse trabalho.

A Dra. Daniele Ribeiro Contin pela amizade e ajuda na realização nas análises bioquímicas junto ao laboratório de Fisiologia Vegetal da FFCLRP-USP.

Ao Prof. Dr. Alberto José Cavalheiro e ao NUBBE (Núcleo de Bioensaios, Biossíntese e Ecofisiologia de Produtos Naturais) do Instituto de Química – UNESP Araraquara, em especial a técnica Juliana pela parceria na realização das análises químicas desse trabalho.

Ao Dr. Luiz Alberto Colgano, e em especial à Dra. Isabel Duarte Coutinho por terem me recebido no Laboratório RMN na EMBRAPA Instrumentação para a realização das análises de RMN-MAS.

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária de Jaboticabal, através do Programa de Produção Vegetal, que possibilitou a realização do curso de doutorado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de financiamento 001.

A FAPESP: processo nº 2015/22748-2, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de estudo para a realização do curso de doutorado.

Aos colegas do LAPDA, em especial a Annelise Cesarin, Andreisa F. Braga, Ana Rosália, Arthur A. Barroso, Caetano Sales, Cárita L. Amaral, Gabriel A. Aguiar, Izabela

Orzari, Iza Marcela Braga, Mateus B. Triano, Mariluce P. Nepomuceno, Nelson Jayme Neto e Neriane Hijano pela colaboração indispensável nas atividades do experimento e pelos bons momentos compartilhados.

A todos que passaram pelo meu caminho em Jaboticabal e com certeza deixaram um pouco de si, em especial Jordana Flores de Araújo, Natalia Barreto Meneses, Nathalia Gioria, Priscila Donata e Rodrigo Nowaki pela grande amizade, companheirismo e momentos inesquecíveis.

Por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada.

SUMÁRIO

RESUMO.....	II
LISTA DE ABREVIATURA	IV
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	5
INTRODUÇÃO	5
REVISÃO DE LITERATURA	6
Mudança climática no cenário global	6
Fotossíntese.....	7
Demanda Nutricional	9
Síntese de metabólitos	11
Estresse oxidativo	13
OBJETIVOS	14
REFERÊNCIAS.....	15
CAPÍTULO 2 - EFEITO DO AUMENTO DO CO ₂ ATMOSFÉRICO NA INTERAÇÃO ENTRE PLANTAS DANINHAS E SOJA	24
INTRODUÇÃO	25
MATERIAL E MÉTODOS	27
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS.....	53
CAPÍTULO 3 - ENRIQUECIMENTO DE CO ₂ ATMOSFÉRICO E SEUS EFEITOS NAS MEDIDAS DE TROCAS GASOSAS, ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E SUBSTÂNCIAS METABÓLICAS	58
INTRODUÇÃO	60
MATERIAL E MÉTODOS	61
RESULTADOS.....	68
DISCUSSÃO	90
CONCLUSÃO.....	93
REFERÊNCIAS.....	93

AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ ATMOSFÉRICO E SEUS EFEITOS NA INTERAÇÃO PLANTA DANINHA/CULTURA DA SOJA

RESUMO - Até o final do século XXI, as projeções de mudanças climáticas baseadas na emissão de gases de efeito estufa sugerem aumento na concentração de dióxido de carbono atmosférico, em até 750 ppm. Se as projeções se realizarem, teremos alterações significativas no desenvolvimento vegetal e, conseqüentemente, nos sistemas agrícolas, alterando, portanto, as interações entre plantas daninhas e culturas. Em vista disso, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito do incremento da concentração atmosférica de CO₂ na interação entre plantas daninhas (*Euphorbia heterophylla* e *Amaranthus viridis*) e soja (*Glycine max*), e as características fisiológicas e bioquímicas dessas plantas em duas concentrações de CO₂. Foram desenvolvidos dois experimentos, em câmaras de topo aberto (OTCs). Em cada experimento o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x2, sendo cinco condições de convivência (monocultura de soja, de caruru e de leiteiro, e convivência de soja com caruru e de soja com leiteiro) e duas concentrações de CO₂ (400 e 800 ppm). No primeiro experimento, os resultados demonstraram que o aumento de CO₂ afetou diferentemente as três espécies, sendo que a interferência intraespecífica de soja e caruru foram maiores em 800 ppm, enquanto que de leiteiro foi maior em 400 ppm. A convivência da soja com caruru e da soja com leiteiro resultou em prejuízo mútuo, tanto para soja quanto para as plantas daninhas, no entanto, quando a soja se desenvolveu em convivência com leiteiro, a interferência interespecífica foi maior em 800 ppm. No segundo experimento, o incremento de CO₂ resultou em maior assimilação de carbono pela fotossíntese somente em soja, no entanto, houve aumento na eficiência do uso da água e no teor de carotenoides, para as três espécies estudadas. De forma geral, o incremento de CO₂ atmosférico reduziu o teor de malondialdeído em soja, caruru e leiteiro, no entanto maior atividade da enzima SOD foi observada nessas três espécies. O perfil metabólico foi modificado em decorrência do aumento da concentração de CO₂, sendo que condição ambiente apresentou maior teor de sacarose, enquanto que plantas em elevado CO₂ apresentaram maior teor de glicose. Já em relação ao metabolismo secundário, a soja e o leiteiro apresentaram maior síntese de compostos flavonoides em elevado CO₂, enquanto que o caruru apresentou redução do flavonoide rutina.

Palavras-chave: Incremento de CO₂ atmosférico, mudança climática, interferência, perfil metabólicos de plantas daninhas, absorção de nutrientes.

INCREASE OF ATMOSPHERE CO₂ CONCENTRATION AND ITS EFFECTS ON WEEDS/SOYBEANS INTERACTION

ABSTRACT - By the end of the 21st century, climate change projections based on the emission of greenhouse effect gases suggest an increase in the concentration of atmospheric carbon dioxide, in up to 750 ppm. In this scenario, we have significant changes in plant development, and consequently, in agricultural systems, thus altering the interactions between crops and weeds. Based on that, the aims of this work were to evaluate the effect of increasing of atmospheric CO₂ concentration on the interaction between weeds (*Euphorbia heterophylla* and *Amaranthus viridis*) and soybeans (*Glycine max*), and the physiological and biochemical characteristics of these plants at two concentrations of CO₂. Two experiments were carried out in open-top chambers (OTCs), in a completely randomized experimental design in a 5x2 factorial scheme: five coexistence conditions (monoculture of soybean, Slender Amaranth and wild poinsettia, and coexistence of soybean with Slender Amaranth and soybean with wild poinsettia) and two concentrations of CO₂: 400 and 800 ppm. In the first experiment, the results showed that the increase of CO₂ was different on the three species, and the intraspecific interference of soybean and slender amaranth was higher in 800 ppm, while in wild poinsettia the intraspecific interference was higher in 400 ppm. The coexistence of soybeans with slender amaranth and soybeans with wild poinsettia resulted in mutual injury, for both soybean and for weeds, however, when soybean was developed in coexistence with wild poinsettia, interspecific interference was higher in 800 ppm. In the second experiment, increase of CO₂ resulted in greater carbon assimilation by photosynthesis only in soybeans, however, there was increase in the water use efficiency and in the carotenoid content, for the three species. In general, the increase of atmospheric CO₂ reduced the lipid peroxidation in soybean, slender amaranth and wild poinsettia, but a greater activity of the SOD enzyme was observed in these three species. The metabolic profile was changed by the higher CO₂ concentration, wherein at 400 ppm presented higher sucrose content, while plants 800 ppm presented higher glucose content. The secondary metabolism of soybean and wild poinsettia presented a higher synthesis of flavonoid compounds at 800 ppm, while slender amaranth showed decrease of flavonoid rutin.

Keyword: enrichment of atmosphere CO₂, interference, climate change, metabolic profile of weeds, absorption of nutrients.

LISTA DE ABREVIATURA

A	Fotossíntese líquida por unidade de área ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
AFT	Área foliar total (cm^2)
APX	Ascorbato peroxidase (U mg^{-1} proteína)
AST	Açúcares solúveis totais ($\mu\text{g mg}^{-1}$ massa seca)
Carot.	Carotenóides ($\mu\text{mol g}^{-1}$ massa seca)
Carot/Chl total	Razão carotenóides por clorofila total
CAT	Catalase (U mg^{-1} proteína)
CC	Capacidade de campo
Chl a	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{mol g}^{-1}$ massa seca)
Chl b	Clorofila <i>b</i> ($\mu\text{mol g}^{-1}$ massa seca)
Chl total	Clorofila total ($\mu\text{mol g}^{-1}$ massa seca)
CO₂	Dióxido de carbono
[CO₂]	Concentração de dióxido de carbono (ppm)
DTT	Ditiotreitol
E	Taxa de transpiração ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
EDTA	Ácido etilenodiamino tetracético
EIT	Eficiência instantânea da transpiração (A/E) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)
EiUA	Eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)
EROs	Espécies reativas de oxigênio
FFFA	Fluxo de fótons fotossinteticamente ativos ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Fv/Fm	Eficiência quântica máxima do fotossistema II
GPX	Guaiacol peroxidase (U mg^{-1} proteína)
g_s	Condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
H₂O₂	Peróxido de hidrogênio
MDA	Malondialdeído (nmol g^{-1} massa seca)
MS	Massa seca
MSC	Massa seca dos caules (g)
MSF	Massa seca das folhas (g)
MSP	Massa seca dos pecíolos (g)
MSR	Massa seca das raízes (g)
MST	Massa seca total (g)
NBT	Nitroblue tetrazolium
N-P-K	Adubo nitrogênio-fósforo-potássio
1 O₂	Oxigênio singlete
O₂⁻	Radical superóxido
OH-	Radical hidroxila
OTCs	Câmaras de topo Aberto – em inglês: Open top chambre
PCA	Ácido perclórico
PS I	Fotossistema I
PS II	Fotossistema II
PVP	Polivinilpirrolidona
R/PA	Razão raiz por parte aérea
SOD	Superóxido Dismutase (U mg^{-1} proteína)
TBA	Ácido tiobarbitúrico
TCA	Ácido tricloroacético

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas ocorridas nos últimos anos como o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera têm impulsionado os estudos com plantas que buscam entender o comportamento biológico das espécies frente a esse fenômeno.

As plantas utilizam o CO₂ atmosférico para fixação de carbono através da fotossíntese, de forma que alteração na concentração desse gás poderá interferir no desenvolvimento e metabolismo dos vegetais. Essas alterações no metabolismo das plantas podem ainda variar de acordo com a espécie. Plantas com metabolismo C3 tendem a apresentar maior estímulo fotossintético com o aumento da concentração de CO₂ em comparação às espécies C4 (MIRI et al., 2012). Diferenças de respostas de plantas C3 e C4 são de extrema importância para a interação entre plantas cultivadas e daninhas, nos ecossistemas agrícolas (VALERIO et al., 2011). As diferentes de respostas destas plantas ao CO₂ sugerem que a competição entre planta daninha e culturas pode ser alterada.

Plantas daninhas respondem mais rapidamente as mudanças ambientais e apresentam melhor adaptação aos diferentes ambientes, em comparação as cultivadas, devido à maior diversidade genética e plasticidade fenotípica dessas. Assim como as culturas, plantas daninhas C3 e C4 respondem diferentemente as mudanças climáticas. Segundo Miri et al. (2012), é provável que plantas daninhas C3 tenham maior capacidade competitiva com culturas C3, enquanto espécies C4 tendem a ser menos competitiva com essas culturas. Por outro lado, esse incremento de CO₂ na atmosfera pode levar a uma maior biossíntese de metabólitos, primários e/ou secundários, sendo que estes passíveis de interferirem no desenvolvimento de plantas vizinha, se liberados no meio.

Desta forma, o conhecimento das respostas de cada espécie e a interação entre elas frente às mudanças ambientais é de extrema importância, e permitem traçar práticas adequadas de manejo nos sistemas agrícolas (ROGERS; DAHLMAN, 1993), racionalizando seu uso, com conseqüente redução no impacto ambiental e

Conclusão

O aumento da concentração de CO₂ interferiu nos processos fisiológicos e bioquímico de soja, caruru e leiteiro de forma diferenciada, de acordo com a condições de convivência de cada espécie. O incremento de CO₂ resultou em maior assimilação de carbono pela fotossíntese somente em soja, no entanto houve aumento na eficiência do uso da água e no teor de carotenoides, para as três espécies estudadas.

De forma geral, o incremento de CO₂ atmosférico reduziu a peroxidação de lipídio (MDA) em soja, caruru e leiteiro, no entanto maior atividade da enzima SOD foi observada nessas três espécies.

O perfil metabólico foi modificado em decorrência do aumento da concentração de CO₂, sendo que condição ambiente apresentou maior teor de sacarose, enquanto que plantas em elevado CO₂ apresentaram maior teor de glicose.

Soja e leiteiro apresentaram maior síntese de compostos flavonoides em elevado CO₂, já caruru apresentou redução do flavonoide rutina.

Referências

ABDELGAWAD, H.; FARFAN-VIGNOLO, E. R.; DE VOS, D.; ASARD, H. Elevated CO₂ mitigates drought and temperature-induced oxidative stress differently in grasses and legumes. **Plant Science**, v. 231, p. 1–10, 2015.

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.

ARANJUELO, I.; IRIGOYEN, J.; NOGUES, S.; SANCHEZDIAZ, M. Elevated CO₂ and water availability effect on gas exchange and nodule development in N₂-fixing alfalfa plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 65, p. 18–26, 2009.

AZEVEDO, R. A.; ALAS, R. M.; SMITH, R. J.; LEA, P. J. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, v. 104, p. 280-292, 1998.

BAXTER, A.; MITTLER, R.; SUZUKI, N. ROS as key players in plant stress signalling. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, p. 1229–1240, 2014.

BEAUCHAMP, C. O.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase. Improved assays and an assay applicable to acrylamide gel. **Analytical Biochemistry**, v. 44, p. 276-287, 1971.

BEIS, A.; PATAKAS, A. Relative contribution of photoprotection and anti-oxidative mechanisms to differential drought adaptation ability in grapevines. **Environmental and Experimental Botany**, v. 78, p. 173-183, 2012.

BERNACCHI, C. J.; KIMBALL, B. A.; QUARLES, D. R.; LONG, S. P.; ORT, D. R. Decreases in stomatal conductance of soybean under open-air elevation of [CO₂] are closely coupled with decreases in ecosystem evapotranspiration. **Plant Physiology**, v. 143, p. 134–144, 2007.

BERNSTEIN, L.; BOSCH, P.; CANZIANI, O.; CHEN, Z. et al. Summary for policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Climate Change 2007. Synthesis Report.

BLOKHINA, O.; VIROLAINEN, E.; FAGERSTEDT, K. V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. **Annual Botany**, v. 91, p. 179–194, 2003.

CASSIMIRO, J. C.; SOUZA, S. R.; MORAES, R. M. Trocas gasosas e injúrias foliares visíveis em plantas jovens de *Astronium graveolens* Jacq. fumigadas com ozônio. **Hoehnea**, v. 42, n. 4, p. 687-694, 2015.

CHANCE, B.; MAEHLEY, A. C. Assay of catalase and peroxidases. **Methods in Enzymology**, v. 11, p. 764-775, 1955.

DAVIS, A. S.; AINSWORTH, E. A. Weed interference with field-grown soybean decreases under elevated [CO₂] in a FACE experiment. **Weed Research**, v. 52, p. 277–285, 2012.

DEMMIG-ADAMS, B.; ADAMS, W.W. III. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. **Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 43, p. 599-626, 1992.

EKMEKCI Y.; TANYOLAC, D.; AYHAN, B. Effects of cadmium on antioxidant enzyme and photosynthetic activities in leaves of two maize cultivars. **Journal of Plant Physiology**, v. 165, p. 600–611, 2008.

ERBS, M.; FRANZARING, J.; HOGY, P.; FANGMEIER, A. Free air CO₂ enrichment in a wheat-weed assembly – effects on water relations. **Basic and Applied Ecology**, v.10, p. 358–367, 2009.

ERICE, G.; ARANJUELO, I.; IRIGOYEN, J. J.; SÁNCHEZ-DÍAZ, M. Effect of elevated CO₂, temperature and limited water supply on antioxidant status during regrowth of nodulated alfalfa. **Physiol. Plant.** v. 130. p. 33–45, 2007.

FOYER, C. H.; DESCOURVIÈRES, P.; KUNERT, K. J. Protection against oxygen radicals: an important defense mechanism studied in transgenic plants. **Plant, Cell and Environment**, v. 17, p. 507-523, 1994.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Oxidant and antioxidant signalling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. **Plant, Cell and Environment**, v. 28, p. 1056-1071, 2005.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide Dismutase I Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v. 59, p. 309-314, 1977.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, p. 909–930, 2010.

GRAHAM, E. A.; NOBEL, P.S. Long-term effects of a doubled atmospheric CO₂ concentration on the CAM species *Agave deserti*. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, p. 61-69, 1996.

GRATÃO, P. L.; POLLE, A.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. Making the life of heavy-metal stressed plants a little easier. **Function of Plant Biology**, v. 32, p. 481–494, 2005.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I Kinetics and Stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 125, p. 189-198, 1968.

HENDRY, G. A. F.; PRICE, A. H. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: HENDRY, G. A. F.; GRIME, J. P. (Eds.) *Methods in comparative plant ecology*. London: Chapman; Hall. 1993. 485p

HOAGLAND DR; ARNON DI. 1950. **The waterculture method for growing plants without soil**. Berkeley, College of Agriculture: Agricultural Experiment Station, University of California. (Circ. 347)

IDSO, S. B.; KIMBALL, B. A.; HENDRIX, D. L. **Effects of atmospheric CO₂ enrichment on chlorophyll and nitrogen concentrations of sour orange tree leaves**. *Environmental Experimental Botany*, v. 36, n. 3, p. 323-331, 1996.

IPCC, 2013. *Climate change 2013: the physical science basis*. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, B.; MIDGLEY, B. M. (Eds.), **Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

KNOX, J. P.; DODGE, A. D. Singlet oxygen and plants. **Phytochemistry**, v. 24, p. 889-896, 1985.

KOZAKI, A.; TAKEBA, G. Photorespiration protects C3 plants from photooxidation. **Nature**, v. 384, p. 557-560, 1996.

KUMARI, S.; AGRAWAL, M.; TIWARI, S. Impact of elevated CO₂ and elevated O₃ on *Beta vulgaris* L.: Pigments, metabolites, antioxidants, growth and yield. **Environmental Pollution**, v. 174, p. 279-288, 2013.

LARSON, R. A. The antioxidants of higher plants. **Phytochemistry**, v. 27, p. 969-978, 1988.

LEAKEY, A. D. B.; AINSWORTH, E. A.; BERNACCHI, C. J. *et al.* Elevated CO₂ effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: six important lessons from FACE. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, p. 2859–2876, 2009.

LONG, S. P.; AINSWORTH, E. A.; ROGERS, A.; ORT, D. R. Rising atmospheric carbon dioxide: Plants FACE the future. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, p. 591-628, 2004.

MISHRA, A. K.; RAI, R.; AGRAWAL, S. B. Individual and interactive effects of elevated carbon dioxide and ozone on tropical wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars with special emphasis on ROS generation and activation of antioxidant defence system. **Indian Journal of Biochem. Biophys.** v. 50, p. 139–149, 2013.

MOLLER, I. M.; JENSEN, P. E.; HANSSON, A. Oxidative modifications to cellular components in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 58, p. 459–481, 2007.

NAIDU, V. S. G. R. Climate change, crop-weed balance and the future of weed management. **Indian Journal of Weed Science**, v. 47, n. 3, p. 288–295, 2015

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, p. 867-880, 1981.

NOBEL, P. S. **Physicochemical**. In: Environmental Plant Physiology, Academic Press, San Diego, 2001. 477 p.

NOCTOR, G.; FOYER, C. H. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. **Annual Reviews of Plant Physiology and Plant molecular Biology**, v. 49, p. 249-279, 1998.

NOCTOR, G.; MHAMDI, A. Climate Change, CO₂, and Defense: The Metabolic, Redox, and Signaling Perspectives. **Trends in Plant Science**, v. 22, n. 10, p. 857-870, 2017.

NOGUÉS, I.; PEÑUELAS, J.; LLUSIÀ, J.; ESTIARTE, M.; MUNNÉ-BOSCH, S.; SARDANS, J.; LORETO, F. Physiological and antioxidant responses of *Erica multiflora* to drought and warming through different seasons. **Plant Ecology**, v. 213, p. 649-661, 2012.

PÉREZ-LÓPEZ, U.; MIRANDA-APODACA, J.; MENA-PETITE, A.; MUNOZ-RUEDA, A. Responses of nutrient dynamics in barley seedlings to the interaction of salinity and carbon dioxide enrichment. **Environmental and Experimental Botany**, v. 99, p. 86–99, 2014.

PEREZ-LOPEZ, U.; ROBREDO, A.; LACUESTA, M.; MUNOZ-RUEDA, A.; MENA-PETITE, A. Atmospheric CO₂ concentration influences the contributions of osmolyte accumulation and cell wall elasticity to salt tolerance in barley cultivars. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, p. 15–22, 2010.

PINTÓ-MARIJUAN, M.; SILVA, A. B.; FLEXAS, J.; DIAS, T.; ZARROUK, O.; MARTINS-LOUÇÃO, M. A.; CHAVES, M. M.; CRUZ, C. Photosynthesis of *Quercus suber* is affected by atmospheric NH₃ generated by multifunctional agrosystems. **Tree Physiology**, v. 33, n. 12, p. 1328–1337, 2013.

PRADO, C. H. B. A.; MORAES, J. A. P. V. Photosynthetic capacity and specific leaf mass in twenty woody species of Cerrado vegetation under field conditions. **Photosynthetica**, v. 33, p. 103-112, 1997.

REDDY, A. R.; RASINENI, G. K.; RAGHAVENDRA, A. S. The impact of global elevated CO₂ concentration on photosynthesis and plant productivity. **Current Science**, v. 99, n. 1, p. 46-57, 2010.

SGHERRIL, C. L. M.; SALVATECI, P.; MENCONI, M.; RASCHI, A.; NAVARI-IZZO, F. Interaction Between Drought and Elevated CO₂ in the Response of Alfalfa Plants to Oxidative Stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 156. p. 360-366, 2000.

SMIRNOFF, N. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. **New Phytologist**, v. 125, p. 27-58, 1993.

VEAL, E. A.; DAY, A. M.; MORGAN, B. A. Hydrogen peroxide sensing and signaling. **Molecular Cell**, v. 26, p. 1–14, 2007.

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.

YAO, L. H.; JIANG, Y. M.; SHI, J.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; DATTA, N.; SINGANUSONG, R.; CHEN, S. S. Flavonoids in food and their health benefits. **Plant Food Hum. Nutr**, v. 59, p. 113-122, 2004.

YILMAZA, O.; KAHRAMANA, K.; OZGURB, R.; UZILDAYB, B.; TURKANB, I.; OZTURK, L. Growth performance and antioxidative response in bread and durum wheat plants grown with varied potassium treatments under ambient and elevated carbon dioxide. **Environmental and Experimental Botany**, v. 137, p. 26–35, 2017.

ZERAIK, A. E.; SOUZA, F. S.; FATIBELLO-FILHO, O.; LEITE, O. D. Desenvolvimento de um spot test para o monitoramento da atividade da peroxidase em um procedimento de purificação. **Quimica Nova**, v. 31, n. 4, p. 731-734, 2008.

ZHANG, J. L.; MENG, L. Z.; CAO, K. F. Sustained diurnal photosynthetic depression in uppermost-canopy leaves of four dipterocarp species in the rainy and dry seasons: does photorespiration play a role in photoprotection? **Tree Physiology**, v. 29, p. 217-228, 2009.

ZISKA, L. H. Changes in competitive ability between a C4 crop and a C3 weed with elevated carbon dioxide. **Weed Science**, v. 49, n. 5, p. 622-627.

