

Desempenho bioquímico de plântulas de feijão sob restrição hídrica no início do desenvolvimento

Biochemical performance of bean seedlings under water restriction at the beginning of development

Bruno Oliveira Novais Araújo *

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Manoela Andrade Monteiro

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Angelita Celente Martins

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Liriana Lacerda Fonseca

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Adriel Somavilla Uliana

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Vinícius Diel de Oliveira

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Tiago Pedó

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Tiago Zanatta Aumonde

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Revista de la Facultad de Agronomía

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

ISSN: 1669-9513

Periodicidade: Semestral

vol. 120, núm. 1, 2021

redaccion.revista@agro.unlp.edu.ar

Recepção: 08/07/20

Aprovação: 22/03/21

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/23/232004008/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e070>

***Autor correspondente:** bruno-tec@outlook.com



Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a o desempenho de cultivares de feijão submetidas ao déficit hídrico no desenvolvimento inicial das plantas. O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Pelotas. As sementes utilizadas foram das cultivares BRS Esteio e IPR Tuiuiú, ambas cultivares do grupo preto. A restrição hídrica foi imposta utilizando PEG-6000 como redutor de potencial osmótico para realizar o teste de germinação. No décimo dia de germinação foram coletadas as plântulas para a avaliação dos seguintes testes: teores de prolina, peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica e enzimas antioxidante que foram avaliadas através da atividade específica das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX). O delineamento utilizado foi de inteiramente casualizado, no esquema fatorial duas cultivares por quatro potenciais osmóticos. Os dados foram submetidos à análise de variância e os valores de F quando significativos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados demonstram que a restrição hídrica, conforme o potencial osmótico, afeta de forma distinta a atividade das enzimas CAT, SOD, APX. O que pode resultar em plantas menos adaptadas ao estresse hídrico.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, estresse hídrico, peroxidação lipídica, enzimas antioxidante, superóxido dismutase

Abstract

The present work aimed to evaluate the performance of bean cultivars submitted to water deficit in the initial development of plants. The experiment was conducted at the Federal University of Pelotas. The seeds used were from the cultivars BRS Esteio and IPR Tuiuiú, both cultivars from the black group. Water restriction was imposed using PEG-6000 as an osmotic potential reducer to perform the germination test. On the tenth day of germination, seedlings were collected for the evaluation of the following tests: levels of proline, hydrogen peroxide, lipid peroxidation and antioxidant enzymes that were evaluated through the specific activity of the enzymes superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX). The design used was completely randomized, in the factorial scheme two cultivars for four osmotic potentials. The data were subjected to analysis of variance and the F values when significant were compared using the Tukey test at 5% probability. The results demonstrate that water restriction, according to the osmotic potential, affects CAT, SOD, APX enzymes in a different way. Which can result in plants less adapted to water stress.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*, water stress, lipid peroxidation, antioxidant enzymes, superoxide dismutase

INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é umas das principais espécies cultivadas no Brasil, sendo consumo por 71,9% da população brasileira. Um dos motivos pelo alto consumo é o valor nutricional, sendo o feijão rico em proteínas, minerais e vitaminas, e o preço associado, sendo de fácil acesso econômico (Jaime et al., 2015).

Apesar de ter um grande consumo, o país é considerado o terceiro maior produtor mundial, entre Myanmar, Índia, Estados Unidos e México (Coêlho, 2018). O Brasil, por ser um país continental e com uma variação climática bastante diversa, apresenta três safras para a produção, sendo dependente da microrregião, em grande parte do país o feijão semeado na primeira safra que ocorre em meados de outubro acaba sendo substituído pela soja ou até mesmo o milho, assim variando a quantidade de área semeada no Brasil (CONAB, 2019).

O feijão apresenta característica que reduz drasticamente a produtividade das lavouras brasileiras e assim abaixando a média nacional, tendo de modo geral, pequeno desenvolvimento do sistema radicular com pequeno volume do solo. Essa característica torna as plantas de feijoeiro sensíveis as variações decorrentes das práticas agrícolas intensas com o passar do tempo, que podem alterar os aspectos físicos do solo, tais como a compactação do solo por tráfego de máquina e implementos agrícolas, manejo de culturas que exploram a mesma área com seu sistema radicular (Costa et al., 2012). Podem alterar atributos de densidade do solo, resistência à penetração, taxa de infiltração do solo, capacidade de retenção de água, macro e microporosidade, que são atributos que irão refletir na produtividade de culturas como milho e feijão (Kramer, 2016).

Mesmo em sistemas que preconizam métodos conservacionistas do solo e da água, esses fatores correlacionados com o limitado desenvolvimento radicular tornam essas plantas menos capazes de suportar estresses abióticos, como um período longo sem chuvas ou o excesso destas, o que limita a absorção de nutrientes e água pelas raízes o que impactará diretamente no crescimento e desenvolvimento da cultura durante o seu ciclo.

Essa limitação no seu crescimento em virtude da baixa disponibilidade de água pode promover mudanças fisiológicas e bioquímicas nas plantas, como a redução da área foliar, fechamento estomático, limitação do crescimento radicular e aumento da atividade enzimática Taiz et al. (2017).

As plantas respondem de maneira diferente aos níveis de déficit hídrico e de maneira complexa para uma maior adaptação a aquele fator ou se tornando mais sensível a condição (Chaves et al., 2009). Neste sentido plantas mais adaptáveis a essa condução poderão acumular maiores teores de prolina e outro metabólicos (Yamada et al., 2005).

Como resposta ao estresse a planta produz uma maior quantidade de espécies reativas de oxigênio (EROs), e como forma de defesa são produzidos metabólicos enzimáticos que tentaram suprimir ou reduzir os efeitos da EROs (Barbosa et al., 2014), como as enzimas superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT) dentre outras enzimas que cumprem efeitos similares (Blokina & Fagerstedt, 2010a, 2010b; Gill & Tuteja, 2010). A produção destas enzimas está associada com a manutenção dos níveis de peroxidação lipídica e sua ativação é feita a partir da sinalização do déficit hídrico, como forma de proteção do estresse oxidativo. A redução dos danos oxidativos ocorre pela ativação das enzimas antioxidantes e com isso poderão conferir maior tolerância ao estresse (Reddy et al., 2015).

Com isso, este trabalho teve como objetivo avaliar a o desempenho de cultivares de feijão submetidas ao déficit hídrico no desenvolvimento inicial das plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório Didático de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas.

A restrição hídrica foi imposta a plântulas de feijão a partir da simulação em papel "germitest" utilizando PEG-6000 como redutor de potencial osmótico. Os potenciais osmóticos foram 0 MPa (capacidade de

substrato) sendo utilizado apenas 3.5x o peso do papel em quantidade de água, -0,24 MPa, -0.26 MPa e -0.28 MPa, adicionando 133,06, 139,40 e 145,50 gramas de PEG-6000 por litro de água (Villela et al., 1991).

Foram utilizadas sementes das cultivares BRS Esteio e IPR Tuiuí, ambas cultivares do grupo preto, de porte ereto e com ciclo produtivo em torno de 90 dias, também estas cultivares apresenta resistência e tolerância às principais doenças da que estão presentes nas áreas de cultivo de feijoeiro no Brasil. Se decidiu utilizá-los pela sua ampla utilização nos campos de produção da região sul do país. O teste de germinação foi realizado para obtenção de plântulas para os posteriores testes, sendo preparado contendo quatro repetições com 50 sementes cada, tendo como substrato papel "germitest" previamente umedecido 3,0 vezes o seu peso com água, levado então para BOD, sob temperatura de 25°C e fotoperíodo de 12 (BRASIL, 2009).

No décimo dia de germinação foram coletadas as plântulas para a avaliação da composição química e enzimas antioxidantes. As amostras de plântulas foram armazenadas em ultra-freezer a -80°C (Martins et al., 2018) até a realização das seguintes análises:

a) Teores de prolina: A quantificação do aminoácido prolina foi feita segundo o método descrito por (Rena & Masciotti, 1976). Adicionou-se 0,1 mL de glicina, 1,5 μ L a alíquotas da solução obtida pelo MCW, completando-se o volume da solução para 3 mL com água mili-Q. Adicionaram-se então, 2 mL de ácido acético p.a. e 2 mL de solução de ninhidrina (600 mg de ninhidrina em 15 mL de ácido acético p.a. e 10 mL de ácido fosfórico 6 M). Os tubos foram agitados e incubados em banho-maria a 100 °C por 35 minutos. Depois, foram colocados em banho de gelo, sendo adicionados 4 mL de tolueno p.a. Agitou-se vigorosamente e a absorbância do sobrenadante (tolueno) foi determinada no comprimento de onda de 515 nm. A concentração de prolina nas amostras foi determinada por meio de uma curva-padrão obtida a partir de padrões de prolina nas concentrações de 0, 0,5, 1,0, 2,0, 3,0 e 4,0 μ g/mL. Os resultados foram expressos em mmol mg^{-1} MF.

A peroxidação lipídica e o teor de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) foram determinados em 250 mg de matéria fresca de plântulas. Os tecidos foram macerados em solução de ácido tricloroacético (TCA) a 0,1 %. O homogenato foi centrifugado a 12.000 x g, durante 20 minutos, sendo o sobrenadante transferido para microtubos Eppendorf, de 2 mL.

b) Peróxido de hidrogênio: a quantificação do H_2O_2 foi determinada de acordo com metodologia proposta por (Velikova et al., 2000). Em tubos de ensaio contendo tampão fosfato de potássio 10 mM pH 7,0 e KI 1 M, foi adicionada uma alíquota do sobrenadante, seguido de incubação a 30 °C, por 10 minutos. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 390 nm. A concentração foi calculada a partir de uma curva padrão de H_2O_2 com, 20 μ L, 40 μ L, 60 μ L, 80 μ L, 100 μ L, 120 μ L, 140 μ L e 160 μ L), e expressa em $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1}$ MF.

c) Peroxidação lipídica: foi determinada por meio da quantificação de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), conforme descrito por (Cakmak & Horst, 1991). Ao meio de reação, composto por 0,5 % (p/v) de ácido tiobarbitúrico (TBA) e 10 % (p/v) de TCA, foi adicionada uma alíquota do sobrenadante, sendo posteriormente incubado a 90 °C, por 20 minutos. A reação foi paralisada por resfriamento rápido em gelo por 10 minutos, logo após a retirada do meio de incubação. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro, a 535 nm e 600 nm. O TBA forma complexos de cor avermelhada com aldeídos de baixa massa molecular, como o malonodialdeído (MDA), produto secundário do processo de peroxidação. A concentração do complexo MDA/TBA foi calculada pela equação: $[\text{MDA}] = (A_{535} - A_{600})/(\xi \cdot b)$, onde ξ : coeficiente de extinção = $1,56 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$, e b: comprimento ótico = 1. A peroxidação foi expressa em $\mu\text{mol de MDA-TBA g}^{-1}$ MF.

As enzimas antioxidante foram avaliadas através da atividade específica das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX). As amostras de plântulas (aproximadamente 250 mg) foram maceradas com auxílio de nitrogênio líquido (N_2) e polivinilpolipirrolidona (10 %), sendo homogeneizados em 1,5 mL do tampão de extração fosfato de potássio 100 mM pH 7,8, contendo EDTA 0,1 mM e ácido ascórbico 10 mM. O homogeneizado foi centrifugado a 13.000 g, por 20 minutos, a 4 °C e o sobrenadante, coletado para determinação da atividade das enzimas e para a quantificação das proteínas pelo método de (Bradford, 1976).

d) CAT foi realizada como descrito por Azevedo et al., (1998), com base no consumo de H_2O_2 (coeficiente de extinção 39,4 mM cm^{-1}). O meio de reação foi composto por tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), H_2O_2 12,5 mM, água e o extrato enzimático, sendo a atividade monitorada pelo decréscimo na absorbância a 240 nm durante dois minutos incubado a 28°C. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína.

e) SOD (EC 1.15.1.1) foi avaliada pela capacidade da enzima em inibir a fotoredução do azul de nitrotetrazólio (NBT) (Giannopolis & Ries, 1977), em um meio de reação composto por fosfato de potássio 100 mM pH 7,8, metionina 14 mM, EDTA 0,1 μ M, NBT 75 μ M e riboflavina 2 μ M. A placa com o meio de reação e a amostra foram iluminados por 10 minutos, com uma lâmpada fluorescente de 20 W. Um controle, contendo o mesmo meio de reação sem a amostra foi iluminado e um branco, contendo o meio de reação sem amostra e o meio de reação, permaneceu no escuro. As leituras foram realizadas a 560 nm e o cálculo da enzima foi realizado com base na equação: % de inibição = (A560 amostra com extrato enzimático – A560 controle sem enzima) / (A560 controle sem enzima), considerando que uma unidade da SOD corresponde à quantidade de enzima capaz de inibir em 50 % a fotoredução do NBT nas condições de ensaio. Os resultados foram expressos em Um g^{-1} de proteína.

f) APX (EC 1.11.1.11) foi determinada segundo Nakano & Asada (1981), monitorando-se a taxa de oxidação do ascorbato (ASA), a 290 nm. O meio de reação composto de tampão fosfato de potássio 100 mM pH 7,0, ácido ascórbico 0,5 mM e H_2O_2 0,1 mM e incubado a 28 °C. O decréscimo na absorbância foi monitorado por um período de dois minutos a partir do início da reação. A atividade da enzima foi calculada utilizando o coeficiente de extinção molar de 2,8 $mol^{-1} L cm^{-1}$. Os resultados foram expressos em μ mol ASA $min^{-1} mg^{-1}$ de proteína.

O delineamento utilizado foi de inteiramente casualizado, no esquema fatorial duas cultivares por quatro potenciais osmóticos. Os dados foram submetidos à análise de variância e os valores de F quando significativos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS

Na Tabela 1 consta o resumo da análise de variância com os quadrados médios das variáveis analisadas. Os resultados para as variáveis catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX), proteína, peroxidação lipídica, peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e prolina apresentaram diferença significativa a nível de 5% pelo teste F.

Na cultivar IPR Tuiuiú, houve superioridade na atividade da CAT, sendo que o maior potencial osmótico não diferiu estatisticamente do tratamento controle (Tabela 2). Já para a cultivar BRS Esteio, os diferentes potenciais osmóticos não diferiram estatisticamente. Quando comparado as duas cultivares, nota-se que a cultivar BRS Esteio obteve superioridade na atividade da CAT, quando comparada com a IPR Tuiuiú.

Tabela 1

Resumo da análise de variância com os quadrados médios para dos dados de catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX), proteína (PR), peroxidação lipídica (PEROX. L.), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e prolina (PRO), Pelotas, UFPel – 2019

FV	GL	Quadrados Médios						
		CAT	SOD	APX	PR	PEROX. L.	H_2O_2	PRO
Cultivar (C)	1	3,11E-08	0,0680	8,67E-05*	63,11	1244,73	14,75*	75,47*
Doses (D)	3	5,99E-08*	4,0097*	5,11E-05	121,2*	67722,20*	4,81*	40,06*
C x D	3	1,29E-08	3,3320*	3,67E-05*	12,90	2250,23	3,10*	18,42*
Resíduo	24	8,56E-08	0,1200	8,06E-07	21,24	271,52	0,13	0,88
CV%		41,79	12,17	23,09	15,45	17,88	31,59	8,71

*Nível de probabilidade 5%

O potencial osmótico de -0,26 MPa foi o que apresentou maior atividade para a SOD na IPR Tuiuiú. A cultivar BRS Esteio, apresentou superioridade para os potenciais osmóticos controle e -0,26 MPa, seguido por -0,28 MPa. Dentre as cultivares a IPR Tuiuiú demonstrou superioridade para o potencial de -0,26, enquanto para a BRS Esteio o potencial -0,28 obteve superioridade na atividade (Tabela 2).

Para a atividade da APX (Tabela 2), a cultivar IPR Tuiuiú apresentou diferença entre os tratamentos, onde o potencial osmótico -0,26 MPa obteve maior atividade. Na cultivar BRS Esteio houve uma redução da atividade com a diminuição do potencial osmótico. Quando comparado as cultivares no potencial -0,26 MPa, a BRS Esteio demonstrou superioridade em relação a IPR Tuiuiú.

Em relação aos teores de proteína (Tabela 3), a cultivar IPR Tuiuiú apresentou maiores teores para o potencial osmótico controle (0,0), -0,26 e -0,28 MPa. A cultivar BRS Esteio não apresentou diferença estatística para teor de proteína. Quando comparado as cultivares, a cultivar BRS Esteio obteve maiores teores de proteína em relação a cultivar IPR Tuiuiú em todos os potenciais osmóticos testados.

Os resultados obtidos da peroxidação lipídica (Tabela 3), a cultivar IPR Tuiuiú obteve maiores teores quando as plantas foram submetidas ao estresse hídrico, teores maiores que quando mantida em capacidade de substrato. O mesmo refletiu para a cultivar BRS Esteio, em que o potencial mais elevado foi o que diferiu estatisticamente dos demais, inclusive para o tratamento controle. Entre as cultivares, a cultivar IPR Tuiuiú apresentou maiores resultados na ordem de 70,75% e 39,80% nos tratamentos -0,24 e -0,26 MPa, os demais não diferem estatisticamente.

Para os teores de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), os maiores valores para a cultivar IPR Tuiuiú foram observados para tratamento controle. Já para a cultivar BRS Esteio não apresentou diferença estatística para esta variável (Tabela 3). Quando comparado as cultivares, verificou-se que a IPR Tuiuiú demonstrou superioridade em relação a BRS Esteio nos teores de peróxido de hidrogênio.

Os maiores teores de prolina encontrados foram para a cultivar IPR Tuiuiú no potencial -0,26 e -0,28 MPa. Para a cultivar BRS Esteio foi observado os maiores teores de prolina nos potenciais -0,24 e -0,26 MPa. Houve superioridade no teor de prolina nas plantas da cultivar BRS Esteio, quando comparamos o mesmo tratamento para ambas cultivares. Diferença nas ordens de 28,10%, 99,08%, 16% e 8,25%, nos respectivos tratamentos 0, -0,24, -0,26 e -0,28 MPa (Tabela 3).

Tabela 2

Quadro de interação para variáveis catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), Ascorbato peroxidase (APX), em duas cultivares (IPR Tuiuiú e BRS Esteio) de feijão submetidas a quatro potenciais osmóticos. Pelotas, UFPel – 2019

Doses	CAT		SOD		APX	
	IPR Tuiuiú	BRS Esteio	IPR Tuiuiú	BRS Esteio	IPR Tuiuiú	BRS Esteio
0	0,00014 Ba	0,00033 Aa	2,026 Bb	3,660 Aa	0,00222 Bb	0,01193 Aa
-0,24	0,00035 Aa	0,00026 Aa	2,279 Ba	1,855 Ca	0,00131 Ba	0,00237 Ca
-0,26	0,00018 Aba	0,00019 Aa	4,469 Aa	3,095 ABb	0,00404 Ab	0,00546 Ba
-0,28	0,000078 Bb	0,00021 Aa	2,424 Bb	2,960 Ba	0,00138 Ba	0,00236 Ca
CV %	41,79		12,17		23,09	

**Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha não diferem entre si, a 5% de probabilidade para teste Tukey*

Tabela 3

Quadro de interação das variáveis proteína, peroxidação lipídica, peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e prolina em plântulas de feijão submetida a diferentes potenciais osmóticos. Pelotas – UFPel, 2019

Doses	PROTEÍNA		PEROX. L.		H_2O_2		PROLINA	
	IPR Tuiuiú	BRS Esteio						
0	30,73Aba	35,61Aa	44,08Ba	60,63Ba	3,89Aa	0,682Ab	6,871 Cb	8,80Ca
-0,24	24,58Ba	28,29Aa	114,68Aa	67,16Bb	1,619Ba	0,438Ab	7,644 Cb	15,21A
-0,26	24,68Aba	28,23Aa	122,29Aa	87,47Bb	1,062BCa	0,377Ab	12,222 Ab	14,19A
-0,28	33,66Aa	32,76Aa	112,34Aa	128,24Aa	0,803Ca	0,339Aa	10,188 Ba	11,02B
CV %	15,45		17,88		31,59		8,71	

*Médias seguidas da mesma letra maiúsculas na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\leq 5\%$)

DISCUSSÃO

A alteração na atividade enzimática pode ser diferencial de acordo com o genótipo estudado, o nível de estresse, período de ocorrência e duração (Aumonde et al., 2017). A natureza ou eficiência da resposta ao estresse pode resultar na capacidade de superação do estresse, assim, favorecer o crescimento e o desenvolvimento em determinadas condições ambientais desfavoráveis ao desenvolvimento de plantas cultivadas. Pereira et al., (2012), após 7 dias de estresse hídrico onde evidenciou, aumento da atividade da SOD, nos tecidos foliares de plantas de amendoim, submetidos ao déficit hídrico. Observou que em resposta à atividade da SOD, o nível de H_2O_2 aumenta, engatilhando, a ação de enzimas secundárias de neutralização como a CAT e a APX, que são responsáveis pela conversão do H_2O_2 a $H_2O + \frac{1}{2} O_2$ e H_2O_2 a $H_2O + R(O)_2$, respectivamente.

O déficit hídrico é capaz de ativar o sistema de defesa enzimático das plantas para eliminar as espécies reativas de oxigênio, provocando alterações em diferentes categorias funcionais (Barbosa et al., 2014), como peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radical superóxido (O_2^-). A redução dos danos oxidativos causados por ocorre, entre outros, por meio da ativação de enzimas antioxidantes, constituindo de importante estratégia para aumentar a tolerância ao estresse (Reddy et al., 2015).

O aumento no teor de proteína, pode estar relacionado com a acúmulo de proteínas específicas nos órgãos vegetativos em resposta a seca que podem estar envolvidas na manutenção e estabilização de membranas, assim como, no sequestro de íons (Garray-Arroio et al., 2000), sendo considerado como uma resposta de algum grau de adaptabilidade ao estresse (Jaleel et al., 2009) mas ainda ocorre divergência pelo fato de não ter total compreensão desse acúmulo destes compostos (Szabados & Savouré, 2010).

Os níveis de H_2O_2 são considerados bons marcadores do estresse oxidativo e tem sido utilizado em vários estudos acerca de tolerância de plantas a condições de seca (Demidchik, 2015; Caverzan et al., 2016). Assim, é possível que cultivares com menor acúmulo de H_2O_2 sejam potencialmente superiores na resposta ao estresse.

O acúmulo ou o decréscimo de prolina pode estar correlacionado à tolerância ao estresse. Em plantas sob condições adversas, o conteúdo de prolina pode aumentar até 100 vezes, em comparação ao observado em plantas cultivadas sob condições normais (Verbruggen & Hermans, 2008). Pode, a prolina, atuar como potente antioxidante, inibidor da peroxidação lipídica e na estabilização de proteínas (Ashraf & Foolad, 2007; Gill & Tuteja, 2010).

CONCLUSÕES

A restrição hídrica, conforme o potencial osmótico, afeta de forma distinta a atividade das enzimas CAT, SOD, APX e o conteúdo de prolina em plântulas de feijão.

No crescimento inicial a cultivar IPR Tuiuiu apresenta maior peroxidação lipídica nas restrições sob potencial osmótico de -0,24 e -0,26 MPa comparativamente a BRS Esteio.

REFERÊNCIAS

- Ashraf, M. & Foolad, M.R.** 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*: 59: 206-216.
- Aumonde, T.Z., Pedó, T., Martinazzo, E.G. & F.A. Villela.** 2017. Estresses ambientais e a produção de sementes: Ciência e Aplicação. 1ed. Pelotas-RS: Cópia Santa Cruz 1: 257-275.
- Azevedo, R.A., Alas, R.M., Smith, R.J. & P.J. Lea.** 1998. 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* 104: 280-292.
- Barbosa, M. R., Silva, M.M.A., Willadino, L., Ulisses, C. & T.R. Camara.** 2014. Planta generation and enzymatic detoxification of reactive oxygen species. *Ciência Rural* 44: 453-460.
- Blokhina, O. & K.V. Fagerstedt.** 2010a. Oxidative metabolism, ROS and NO under oxygen deprivation. *Plant Physiology and Biochemistry* 48: 359 - 373.
- Blokhina, O. & K.V. Fagerstedt.** 2010b. Reactive oxygen species and nitric oxide in plant mitochondria: origin and redundant regulatory systems. *Physiologia Plantarum* 138: 447-462.
- Bradford, M.M.** 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248-254.
- Brasil.** 2009. Regras para análise de sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 399 pp.
- Cakmak, I. & W.J. Horst.** 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). *Physiologia Plantarum* 83: 463-468 pp.
- Caverzan, A., Casassola, A. S.O. & Brammer.** 2016. Reactive oxygen species and antioxidant enzymes involved in plant tolerance to stress. En: ROS generation. Libro. Disponible en: www.intechopen.com/books/abiotic-and-biotic-stress-in-plants-recent-advances-and-future-perspectives/reactive-oxygen-species-and-antioxidant-enzymes-involved-in-plant-tolerance-to-stress. Último acceso: Julio de 2020.
- Chaves, M.M., Flexas, J. & C. Pinheiro.** 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany* 103: 551- 560.
- Coelho, J.D.** 2018. Produção de grãos – feijão, milho e soja. Caderno Setorial ETENE. V. 33, 12 pp.
- Conab.** 2019. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, V. 6 – SAFRA 2018/19 – n. 5 - Quinto levantamento fevereiro.
- Costa, M.A.T., Tormena, C.A., Lugão, S.M.B., Fidalski, J., Nascimento, W.G.D. & F.M.D. Medeiros.** 2012. Resistência do solo à penetração e produção de raízes e de forragem em diferentes níveis de intensificação do pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36: 993 -1004.
- Demidchik, V.** 2015. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology. *Environmental and Experimental Botany* 109: 212-228.
- Garray-Arroyo, A., Colmenero-Flores, J.M., Garcarrubio, A. & A. Covarrubias.** 2000. Highly hydrophilic proteins in prokaryotes and eukaryotes are common during conditions of water deficit. *Journal of Biological Chemistry* 275: 5668-5674.
- Giannopolitis, C.N. & S.K. Ries.** 1997. Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology* 59: 309-314 pp.
- Gill, S.S. & N. Tuteja.** 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 48: 909-930.
- Jaime, P.C., Stopa, S.R., Oliveira, T.P., Viera, M.L., Szwarcwald, C.L. & D.C. Malta.** 2015. Prevalência e distribuição sociodemográfica de marcadores de alimentação saudável, Pesquisa Nacional de Saúde, Brasil 2013. *Epidemiologia e Serviço de Saúde* 24: 267-276.

- Jaleel, C.A., Riadh, K., Gopi, R., Manivannan, P., Iné, J., Al-Juburi, H.J., Chang-Xing, Z., Hong-Bo, S. & R. Panneerselvam.** 2009. Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. *Acta Physiologiae Plantarum* 31 (3): 427 – 436.
- Kramer, L.F.M.** 2016. Indicadores qualitativos e quantitativos para avaliação da qualidade física de Latossolos do Paraná. PhD. Tesis. Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 254 pp.
- Martins, A.C., Larré, C.F., Bortolini, F., Borella, J., Eichholz, R., Delias, D. & L. Amarante.** 2018. Tolerância ao déficit hídrico: adaptação diferencial entre espécies forrageira. *Iheringia, Série Botânica* 73 (3): 228-239.
- Nakano, Y. & K. Asada.** 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology* 22: 867-880.
- Pereira, J.W.L., Filho, P.A.M., Albuquerque, M.B.; Nogueira, R.J.M.C. & R.C. Santos.** 2012. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. *Revista Ciência Agronômica* 43: 766-773.
- Reddy, P.S., Jogeswar, G., Rasineni, G.K., Maheswari, M., Reddy, A.R., Varshney, R.K. & P.B.K. Kisho.** 2015. Proline over-accumulation alleviates salt stress and protects photosynthetic and antioxidant enzyme activities in transgenic sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Plant Physiology and Biochemistry* 94: 104-113.
- Rena, A.B. & G.Z. Masciotti.** 1976. The effect of dehydration on nitrogen metabolism and growth of bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ceres* 23: 288-301.
- Szabados, I. & A. Savouré.** 2010. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science* 15 (2): 89-97.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.A. & A. Murphy.** 2017. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal* - 6ª Ed. Artmed, 888 pp.
- Velikova, V., Yordanov, I. & A. Edreva.** 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants. *Plant Science* 151: 59-66.
- Verbruggen, N. & C. Hermans.** 2008 Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids* 35: 753-759.
- Villela, F.A., Doni Filho, L. & E.L. Siqueira.** 1991. Tabela do potencial osmótico em função da concentração de polietilenoglicol 6000 e da temperatura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 26 (11/12): 1957-1968.
- Yamada, N., Morishita, H., Urano, K., Shiozaki, N., Yamaguchi-Shinozaki, k., Shinozaki, k. & Y. Yoshiba.** 2005. Effects of free proline accumulation in petunias under drought stress. *Journal of Experimental Botany* 56: 1975-1981.