

***Sorghum bicolor* submetido a seca e inoculado com *Bacillus* spp.**

Yuri de Brito Paiva¹, Guilherme Lopes da Silva², Ana Cláudia Pereira da Silva³, Guynemer Schelini Neto⁴, Renan Ramos da Rosa⁵, Juliana Silva Rodrigues Cabral⁶

¹Graduando em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade de Rio Verde, Iniciação Científica – PIVIC.

²Graduado em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade de Rio Verde.

³Graduada em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade de Rio Verde.

⁴Graduando em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade de Rio Verde, Iniciação Científica – PIVIC.

⁵Mestrando em Produção Vegetal, Universidade de Rio Verde.

⁶Professora Doutora, Faculdade de Agronomia, Universidade de Rio Verde, juliana.cabral@unirv.edu.br

Reitor:

Prof. Dr. Alberto Barella Netto

Pró-Reitor de Pesquisa e Inovação:

Prof. Dr. Carlos César E. de Menezes

Editor Geral:

Prof. Dra. Andrea Sayuri Silveira Dias Terada

Editores de Seção:

Profa. Dra. Ana Paula Fontana

Prof. Dr. Hidelberto Matos Silva

Prof. Dr. Fábio Henrique Baia

Pra. Dra. Muriel Amaral Jacob

Prof. Dr. Matheus de Freitas Souza

Prof. Dr. Warley Augusto Pereira

Fomento:

Programa PIBIC/PIVIC UniRV/CNPq 2023-2024

Resumo: A cultura do sorgo é uma alternativa ao plantio do milho por ter maior tolerância a períodos de déficit hídrico. Porém, mesmo sendo tolerante a falta de água, a cultura tem alguns sintomas do estresse abiótico. Como alternativa, a utilização de bactérias promotoras do crescimento vegetal podem ser uma estratégia para reduzir os efeitos do déficit hídrico na cultura do sorgo. Com isto, objetivou-se com este trabalho avaliar plantas de *Sorghum bicolor* inoculadas com *Bacillus* spp. e submetidas a seca. Sementes de sorgo (Híbrido. BRS 332) foram semeadas em vasos de 8 litros contendo solo e inoculadas com espécies de *Bacillus* utilizando o produto comercial BioAsis® composto por: *Bacillus aryabhattai*, *Bacillus circulans* e *Bacillus haynesii*. As plantas foram mantidas em casa de vegetação e irrigadas com 60 % de teor de água na capacidade de campo (CC) da germinação até o estágio V3 sendo submetidas a restrição hídrica, adicionando-se aos vasos 20 % da CC por 10 dias e realizadas as análises. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, em arranjo fatorial de 2 x 2 (com e sem inoculação de *Bacillus* spp. x regime hídrico), com sete repetições. Cada parcela, foi constituída por um vaso contendo três plantas. Os dados numéricos obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey (5 % de probabilidade), utilizando o software SISVAR. Concluiu-se que, a inoculação de *Bacillus* spp. promoveu maiores trocas gasosas em plantas de sorgo em diferentes condições hídricas.

Palavras-Chave: Sorgo. Restrição hídrica. endósporos.

***Sorghum bicolor* submitted to drought and inoculated with *Bacillus* spp.**

Abstract: *Sorghum* is an alternative to corn because it is more tolerant to periods of water deficit. However, even though it is tolerant to water shortages, the crop has some symptoms of abiotic stress. As an alternative, the use of bacteria that promote plant growth may be a strategy to reduce the effects of water deficit in sorghum crops. Therefore, the objective of this study was to evaluate *Sorghum bicolor* plants inoculated with *Bacillus* spp. and subjected to drought. Sorghum seeds (Hybrid. BRS 332) were sown in 8-liter pots containing soil and inoculated with *Bacillus* species using the commercial product BioAsis® composed of: *Bacillus aryabhattai*, *Bacillus circulans* and *Bacillus haynesii*. The plants were kept in a greenhouse and irrigated with 60% water content at field capacity (FC) from germination to V3 stage. They were subjected to water restriction by adding 20% of FC to the pots for 10 days and the analyses were performed. The experimental design was completely randomized, in a 2 x 2 factorial arrangement (with and without inoculation of *Bacillus* spp. x water regime), with seven replicates. Each plot consisted of a pot containing three plants. The numerical data obtained were subjected to analysis of variance and the means compared by the Tukey test (5% probability), using the SISVAR software. It was concluded that the inoculation of *Bacillus* spp. promoted greater gas exchange in sorghum plants when in a water regime of 60% of field capacity.

Keywords: *Sorghum*. Water restriction. endospores.

Introdução

A cultura do sorgo vem assumindo uma posição de destaque por ter maior tolerância ao déficit hídrico (FONSECA et al., 2008; MAGALHAES et al., 2014), e por ser utilizada: na produção de ração animal, etanol, alimentos para consumo humano, farinha, pipoca e produção de adubo verde. Além disso, anos de pouca chuva ou plantios tardios podem limitar a produção de milho, tornando o sorgo uma opção para o cultivo na entressafra (ULLMAN, 2018; SILVA, 2019; CABRAL, 2023).

Essa tolerância a períodos de seca permite o cultivo do sorgo em regiões sujeitas a escassez de água, como é o caso da região Centro-Oeste (SANS et al., 2003; DEVNARAIN et al., 2016). Porém, mesmo sendo tolerante a falta de água, ocorre na cultura alguns efeitos como a indução a senescência prematura das folhas, o que resulta em menor produtividade devido ao desbalanço entre C/N nas folhas maduras induzindo a sua senescência (CHEN et al., 2015). Todavia, para se obter altas produtividades, são necessários os mesmos cuidados tomados para outras culturas, como: correção de solo, adubação, manejo de doenças, flexibilidade e controle de plantas indesejadas (FERREIRA et al., 1992).

Bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV) podem ser uma alternativa para reduzir os efeitos do déficit hídrico na cultura do sorgo (VIEIRA et al., 2021). Os efeitos positivos das BPCV devem-se aos efeitos fisiológicos e antiestresse nas plantas relacionadas: à melhoria da nutrição mineral, metabolismo da água, fotossíntese, compostos antibióticos bioativos, fitohormônios, osmorregulação, atividade antioxidante, regulação de fitohormônios endógenos e resistência, bem como a tolerância do sistema vegetal (LASTOCHKINA et al., 2019).

Espécies do gênero *Bacillus* produzem: endósporos, estruturas resistentes a diferentes efeitos físicos e químicos (aquecimento, secagem, solventes orgânicos, irradiação UV, entre outros), o que os torna atrativos para o desenvolvimento de produtos biológicos comerciais para proteção de plantas (FOUDA et al., 2019).

Com isto, objetivou-se com este trabalho avaliar a reação de plantas de *Sorghum bicolor* inoculadas com *Bacillus* spp. e submetidas a seca.

Material e Métodos

Foram semeadas 14 sementes de sorgo (Híbrido. BRS 332), em vasos de 8 litros contendo solo, após emergirem realizou-se o debaste deixando apenas 3 plantas por vaso, foram mantidas em casa de vegetação da Universidade de Rio Verde – Campus Rio Verde sob condições naturais de: luz, umidade relativa média de 54,0 % $\pm$ 2 e temperatura média de 27,0 °C $\pm$ 2 °C, durante o experimento.

O solo foi coletado em área comercial da Universidade de Rio Verde – Campus Rio Verde, sendo que uma amostra foi retirada para análise química. Posteriormente foi adicionado calcário Filler (100 %

PRNT) no solo, reagindo por 20 dias, até chegar na saturação por base recomendada para a cultura (60 %).

Cada vaso foi pesado, sendo adicionada a mesma quantidade de solo. O controle do conteúdo de água foi realizado através de sensores de irrigação, modelo 10 HS (METER Group, Inc. USA). O inoculante utilizado foi constituído pelo produto comercial BioAsis® (*Bacillus aryabhattai*, *Bacillus circulans* e *Bacillus haynesii*), sendo realizada aplicação em sulco (150 mL ha⁻¹).

As plantas foram mantidas irrigadas com 60 % de teor de água da capacidade de campo (CC) da germinação até o estágio V3, quando três folhas estavam completamente desenvolvidas, em seguida foram submetidas a restrição hídrica, submetendo os vasos a 20 % da capacidade de campo (CC) por 10 dias, sendo realizadas as avaliações.

As medições fisiológicas foram realizadas utilizando sistema de determinações da concentração de gases no infravermelho (IRGA, Li-Cor – Li-6800). Parâmetros como: taxa fotossintética líquida (*A*, µmol CO₂ m⁻² s⁻¹), condutância estomática (*gs*, mol H₂O m⁻² s⁻¹) e transpiração (*E*, mmol m⁻² s⁻¹) foram determinados em todos os tratamentos. Foram utilizados 1000 µmol m⁻² s⁻¹ de irradiância durante todo o experimento. As medições foram realizadas no período das 8:00h às 11:00h.

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, em arranjo fatorial 2 x 2 (com e sem inoculação de *Bacillus* spp. x regime hídrico de 60% e 20% de teor da capacidade de campo), com sete repetições. Cada parcela do tratamento, foi constituída por um vaso contendo três plantas. Os dados numéricos obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey (5 % de probabilidade), utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2011).

Resultados e Discussão

A taxa média fotossintética (*A*) foi maior em plantas de sorgo inoculadas com *Bacillus* spp. sob irrigação (50 µmol CO₂ m⁻² s⁻¹), enquanto plantas de sorgo submetidas a déficit hídrico não diferiram com ou sem inoculação das bactérias (Figura 1).

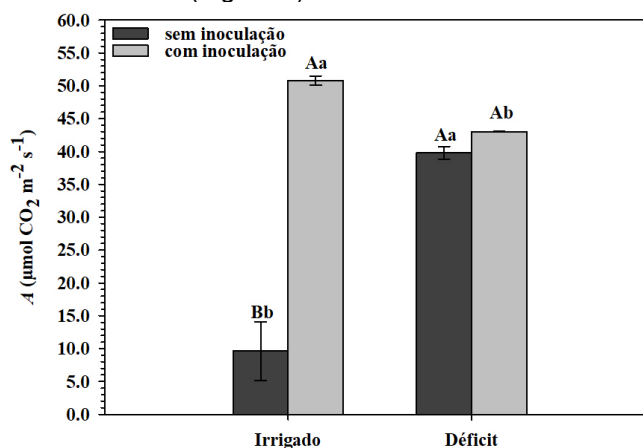


Figura 1 - Taxa fotossintética de plantas de sorgo inoculadas com *Bacillus* spp. sob diferentes regimes hídricos. ± Barra erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, entre os tratamentos de inoculação, e minúscula entre os regimes hídricos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: autoria própria

A determinação de variáveis ecofisiológicas é importante para compreender não apenas o comportamento nutricional das plantas, mas, as manifestações específicas das respostas das plantas aos fatores aplicados (COSTA; MARENCO, 2007), pois, a quantificação das trocas gasosas, que ocorrem nas folhas, está intimamente associada ao estado hídrico do vegetal, bem como seu desenvolvimento (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Quanto à taxa transpiratória (*E*), as plantas de sorgo com inoculação quando irrigadas tiveram maiores valores quando comparadas ao sorgo sem inoculação da bactéria (6,77 e 1,57 mmol H₂O m⁻²

s^{-1} , respectivamente). Quando as plantas estavam sob déficit hídrico não foi obtido diferença na taxa transpiratória com e sem inoculação de *Bacillus* spp. (Figura 2).

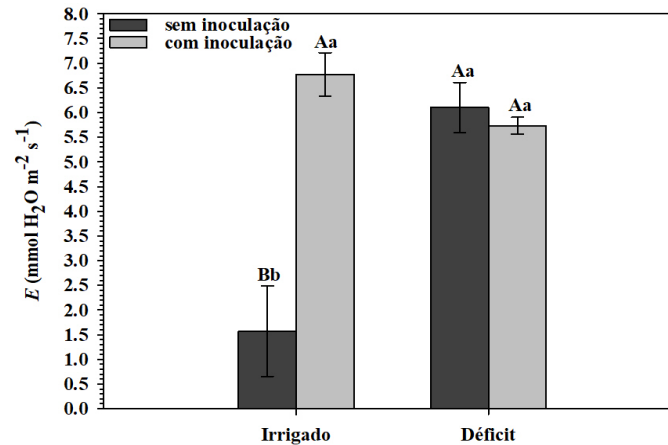


Figura 2 - Transpiração de plantas de sorgo inoculadas com *Bacillus* spp. sob diferentes regimes hídricos. $\pm$ Barra erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, entre os tratamentos de inoculação, e minúscula entre os regimes hídricos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: autoria própria

O sorgo tem maior tolerância ao déficit hídrico do que outras culturas de cereais, o que permite que seja cultivado em áreas com escassez de água (DEVNARAIN et al., 2016). As variedades mais tolerantes ao déficit hídrico têm concentrações mais elevadas de açúcares solúveis e podem sustentar a transpiração e a fotossíntese, mesmo sob condições de seca extrema (OGBAGA et al., 2016).

A condutância estomática (g_s) (Figura 3), apresentou mesmo comportamento das variáveis fotossíntese e transpiração (Figura 1 e 2).

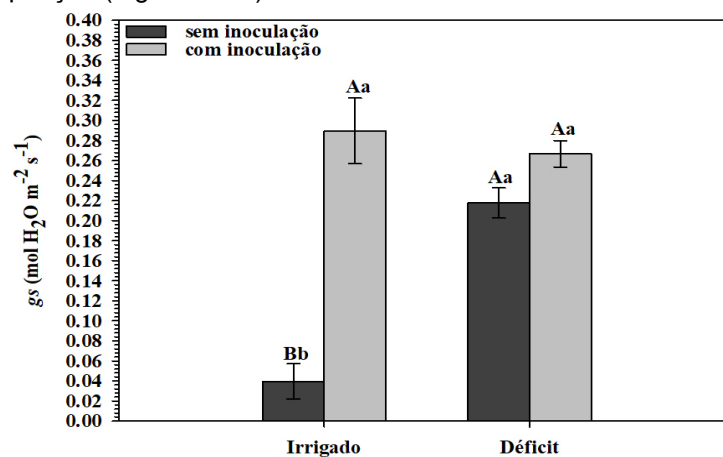


Figura 3 - Condutância estomática de plantas de sorgo inoculadas com *Bacillus* spp. sob diferentes regimes hídricos. $\pm$ Barra erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, entre os tratamentos de inoculação, e minúscula entre os regimes hídricos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: autoria própria

A condutância estomática é avaliada pelo grau de abertura dos estômatos e fornece a capacidade da planta de realizar trocas gasosas (OLIVEIRA et al., 2005), uma redução nesta característica limita a entrada de CO_2 a ser fixado pela rubisco (SHARMA et al., 2020). Porém, o fechamento dos estômatos é fundamental para a sobrevivência das plantas sob condições de limitação

de água porque reduz a perda de água através da transpiração, porém reduz a assimilação de dióxido de carbono, reduzindo assim, a taxa fotossintética (ZHANG et al., 2019).

Bacillus aryabhattai exerce efeitos estimulantes e protetores do crescimento em diferentes espécies de plantas sob diversos estresses ambientais, incluindo a seca (LASTOCHKINA et al., 2019), e tem boa versatilidade catabólica, o que é benéfico para o crescimento das plantas sob condições adversas (GAGNÉ et al., 2016) por meio da síntese de exopolissacarídeos, sideróforos e fitohormônios e aumento da disponibilidade de nutrientes (RADHAKRISHNAN et al., 2017). Além disso, espécies do gênero *Bacillus* pode melhorar a capacidade fotossintética das plantas e promover maior eficiência no uso da água pelas plantas (LI et al., 2016).

A adaptação das plantas às condições estressantes possibilita melhor aproveitamento da água (SANTOS et al., 2020), e estudos mostram que o uso de microrganismos melhora a eficiência do uso da água pelas plantas em condições de escassez hídrica (SCUDELETTI et al., 2021), além de contribuir para a regulação osmótica, criando assim, um gradiente de potencial hídrico que favoreça captação de água (SANTOS et al., 2020).

A utilização de espécies de *Bacillus* spp. em plantas de sorgo proporciona benefícios as plantas para que estas adquiriram tolerância ao déficit hídrico, sendo capazes de atenuar os danos causados pela falta de água no solo, evitando a desidratação de seus tecidos, mantendo o funcionamento do aparato fotossintético, além de serem promotores do crescimento vegetal, em condições irrigadas.

Conclusão

A inoculação de *Bacillus* spp. promoveu maiores trocas gasosas em plantas de sorgo em diferentes condições hídricas.

Agradecimentos

Ao Programa de Iniciação Científica que chancelou a execução do projeto de pesquisa na modalidade PIVIC.

Referências Bibliográficas

- CABRAL, A. H. G. **Utilização do pó de micaxisto como fonte alternativa de potássio na cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*)**. 2023. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.
- CHEN, D.; WANG, S.; XIONG, B.; CAO, B.; DENG, X. Carbon/nitrogen imbalance associated with drought-induced leaf senescence in *Sorghum bicolor*. **PLoS One**, v. 10, n. 8, e0137026, 2015.
- COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). *Acta Amazonica*. 37: 229-234. 2007.
- DEVNARAIN, N.; CRAMPTON, B. G.; CHIKWAMBA, R.; BECKER, J. V. W.; O'KENNEDY, M. M. Physiological responses of selected African sorghum landraces to progressive water stress and re-watering. **South African Journal of Botany**, v. 103, p. 61-69, 2016.
- DEVNARAIN, N.; CRAMPTON, B. G.; CHIKWAMBA, R.; BECKER, J. V. W.; O'KENNEDY, M. M. Physiological responses of selected African sorghum landraces to progressive water stress and re-watering. **South African Journal of Botany**, v. 103, p. 61-69, 2016.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FERREIRA, L. G. R., ALBUQUERQUE, I. M., CRUZ, M. G. M. Alterações na produção de sorgo em resposta ao estresse hídrico aplicado em diferentes fases do ciclo vital. **Engenharia Rural**, v. 3, n. 2, p. 50-64, 1992.
- FONSECA, I. M.; PRADO, R. D.; ALVES, A. U.; GONDIM, A. R. O. Crescimento e nutrição do sorgo (cv. BRS 304) em solução nutritiva. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, p. 113-124, 2008.
- FOUDA, A.; HASSAN, S. E. D.; EID, A. M.; EL-DIN EWAIS, E. The Interaction Between Plants and Bacterial Endophytes under Salinity Stress. In *Endophytes and Secondary Metabolites*; Jha, S., Ed.; **Reference Series in Phytochemistry**; Springer: Cham, Switzerland, 2019; pp. 591–607.

- GAGNÉ-BOURQUE, F.; BERTRAND, A.; CLAESSENS, A.; ALIFERIS, K.A.; JABAJI, S. Alleviation of Drought Stress and Metabolic Changes in Timothy (*Phleum pratense* L.) colonized with *Bacillus subtilis* B26. **Frontiers in Plant Science**, v.7, p.584, 2016.
- LASTOCHKINA, O.; ISLAM, M.T.; RAHMAN, M.M.; PANDEY, P.; BOEHME, M.H.; HAESAERT, G. *Bacillus subtilis*-mediated abiotic stress tolerance in plants. In **Bacilli and Agrobiotechnology: Phytostimulation and Biocontrol**, v. 2, n. 6, p. 97–133, 2019.
- LI, Y.; XU, S.; GAO, J.; PAN, S.; WANG, G. *Bacillus subtilis*-regulation of stomatal movement and instantaneous water use efficiency in *Vicia faba*. **Plant Growth Regulation**, v. 78, p. 43–55, 2016.
- MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. D.; MAY, A.; LIMA FILHO, O. D.; SANTOS, F. D.; MOREIRA, J. A. A.; FREITAS, R. D. Exigências edafoclimáticas e fisiologia da produção. In: BORÉM A (Ed.). **Sorgo: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV. p.58-88, 2014.
- OGBAGA, C. C.; STEPIEN, P.; DYSON, B. C.; RATTRAY, N. J. W.; ELLIS, D. I.; GOODACRE, R.; JOHNSON, G. N. Biochemical analyses of Sorghum varieties differential responses to drought. **PLoS One**, v. 11, n. 5, e0154423, 2016.
- OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.86-95, 2005.
- RADHAKRISHNAN, R.; HASHEM, A.; ABD_ALLAH, E.F. Bacillus: A Biological Tool for Crop Improvement through Bio-Molecular Changes in Adverse Environments. **Frontiers in Physiology**, v. 8, p.667,2017.
- SANS, L. M. A.; MORAIS, A. V. de C. de; GUIMARÃES, D. P. **Época de plantio de sorgo. Sete Lagoas**: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 4 p.
- SANTOS, G. C. L.; GARCIA, P. H. M.; VIANA, T. B. L.; BORGES, P. F.; ARAUJO, L. S.; GONZAGA, S. Crescimento e eficiência do uso da água do sorgo sob distintos regimes hídricos contínuos. **Archivos de zootecnia**, v. 69, p. 164-171, 2020.
- SCUDELETTI, D.; CRUSCIOL, C. A. C.; BOSSOLANI, J. W.; MORETTI, L. G.; MOMESSO, L.; TUBAÑA, B. S.; CASTRO, S. G. Q.; OLIVEIRA, E. F.; HUNGRIA, M. *Trichoderma asperellum* inoculation as a tool for attenuating drought stress in sugarcane. **Frontiers in Plants Science**, v.12, 2021.
- SHARMA, A., KUMAR, V., SHAHZAD, B., RAMAKRISHNAN, M., SINGH SIDHU, GP, BALI, AS, HANDA, N., KAPOOR, D., YADAV, P., KHANNA, K., BAKSHI, P., REHMAN, A., KOHLI, SK, KHAN, EA, PARIHAR, RD, YUAN, H., THUKRAL, AK, BHARDWAJ, R.; ZHENG, B. Photosynthetic response of plants under different abiotic stresses: a review. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 39, 509-531, 2020.
- SILVA, L. C. M. **Cinética de secagem dos grãos e caracterização física e química durante o armazenamento de farinha de sorgo granífero**. 2019. Tese (Doutorado agronomia) Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde. 2019.
- TAIZ; ZEIGER. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Artmed Editora, 2017.
- ULLMANN, R.; RESENDE, O.; RODRIGUES, G. B.; CHAVES, T. H.; OLIVEIRA, D. E. C. Qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino submetidas à secagem e ao armazenamento. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 04, p.313-321, 2018.
- VIEIRA, M. L.; CUNHA, A. J.; SOUZA, D. S. Organomineral associado a *Bacillus aryabhattai* como atenuador do déficit hídrico em mudas de café. **Revista Educação, Saúde e Meio Ambiente**, v. 1, n. 9, p. 319-328, 2021.
- ZHANG, R.; ZHOU, Y.; YUE, Z.; CHEN, X.; CAO, X.; AI, X.; JIANG, C.; XING, Y. The leaf-air temperature difference reflects the variation in water status and photosynthesis of sorghum under waterlogged conditions. **PLoS One**, v. 14, n. 7, e0219209, 2019.