

## SEED PRIMING DE MICROPARTÍCULAS VÍTREAS DE SÍLCIO POTENCIALIZA A ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM FEIJÃO-CAUPI SOB ESTRESSE HÍDRICO

Priscylla Marques de Oliveira Viana<sup>1</sup>, Agda Malany Forte de Oliveira<sup>2</sup>, Guilherme Felix Dias<sup>3</sup>, Vitória Saskia Ferreira Barroso<sup>4</sup>, Ricardo Schineider<sup>5</sup>, Alberto Soares de Melo<sup>6</sup>

**RESUMO:** O déficit hídrico é um dos principais entraves na agricultura, sobretudo em regiões semiáridas, sendo um estresse abiótico de grande relevância. Estratégias que aumentem a tolerância das plantas são essenciais, especialmente no cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), de importância socioeconômica para essas regiões. Este estudo avaliou o efeito do seed priming com micropartículas vítreas de silício na mitigação do déficit hídrico induzido por Polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) na cultivar “BRS Tapaihum”. O experimento, em delineamento inteiramente casualizado fatorial 2x4, com cinco repetições. Os fatores foram: dois níveis de reposição de hídrica (W35% e W75% da ETC) e quatro condicionamentos de sementes - Controle, priming 1 ( $\Psi_h$  - 0,4 MPa), priming 2 ( $\Psi_h$  -0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Azul) e priming 3 ( $\Psi_h$  -0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Âmbar). Avaliaram-se as atividades de superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX). O PEG 6000 induziu "memória de estresse", aumentando a atividade antioxidante sob déficit hídrico. O seed priming com micropartículas vítreas de silício, associado ao PEG 6000, mostrou-se promissor na mitigação dos efeitos do estresse hídrico em feijão-caupi.

**PALAVRAS-CHAVE:** “BRS Tapaihum”, déficit hídrico, polietilenoglicol 6000.

<sup>1</sup> Doutoranda, Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, CEP: 58109-753, Campina Grande – PB, (83) 986150417, pri.viana.marques@gmail.com

<sup>2</sup> Pós-doutoranda, Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, CEP: 58109-753, Campina Grande – PB

<sup>3</sup> Doutorando, Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, CEP: 58109-753, Campina Grande – PB

<sup>4</sup> Mestre, Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, CEP: 58109-753, Campina Grande – PB

<sup>5</sup> Prof. Doutor, Departamento de Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, CEP: 80230-901, Curitiba - PR

<sup>6</sup> Prof. Doutor, Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, CEP: 58109-753, Campina Grande – PB

## SEED PRIMING OF SILICON GLASSY MICROPARTICLES ENHANCES ENZYMATIC ACTIVITY IN COWPEA UNDER WATER STRESS

**ABSTRACT:** Water deficit is a major obstacle to agriculture, especially in semiarid regions, and is a highly relevant abiotic stress. Strategies to increase plant tolerance are essential, especially in the cultivation of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), which is of socioeconomic importance in these regions. This study evaluated the effect of seed priming with glassy silicon microparticles on mitigating water deficit induced by Polyethylene glycol 6000 (PEG 6000) in the cultivar "BRS Tapaihum." The experiment used a completely randomized 2x4 factorial design with five replicates. The factors were: two levels of water replacement (W35% and W75% of ETc) and four seed conditioning - Control, priming 1 ( $\Psi_h$  - 0.4 MPa), priming 2 ( $\Psi_h$  -0.4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> of Blue Si) and priming 3 ( $\Psi_h$  -0.4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> of Amber Si). The activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX) were evaluated. PEG 6000 induced "stress memory", increasing antioxidant activity under water deficit. Seed priming with glassy silicon microparticles, associated with PEG 6000, showed promise in mitigating the effects of water stress in cowpea.

**KEYWORDS:** "BRS Tapaihum", water deficit, Polyethylene glycol 6000.

### INTRODUÇÃO

O cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) desempenha um papel fundamental na agricultura do Nordeste brasileiro, destacando-se por sua rusticidade, capacidade de adaptação a diversos ambientes e tolerância ao déficit hídrico (Sardar et al., 2024). No entanto, a restrição hídrica é uma limitação ao seu desenvolvimento, ocasionando uma série de alterações nas plantas, abrangendo desde danos físicos até modificações nos processos bioquímicos e fisiológicos (Cavalcante et al., 2025).

A baixa adoção de tecnologias nos sistemas produtivos ainda limita seu potencial de rendimento na região, destacando-se, o seed priming por induzir tolerância aos efeitos bióticos e abióticos deletérios nas plantas, por meio da indução da memória ao estresse imposto durante o condicionamento das sementes (Alencar et al., 2024). Assim como o polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) tem se destacado como uma ferramenta eficiente na simulação de estresse hídrico em plantas, por induzir estresse osmótico, além de afetar processos fisiológicos (Meher et al., 2018).

Nesse contexto, dentre as alternativas promissoras existentes a utilização de micropartículas vítreas de silício (SiMPs) como uma fonte de (Si) destaca-se por apresentar grande potencial para mitigar estresses abióticos como a seca (Alencar et al., 2024). Portanto, esse estudo teve como objetivo avaliar a aplicação de seed priming com micropartículas vítreas de silício na mitigação do déficit hídrico induzido por Polietilenoglicol 6000 (PEG 6000) em feijão-caupi na cultivar “BRS Tapaihum”.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2x4, com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Os fatores consistiram em: dois níveis de reposição de hídrica (W35% e W75% da ETc) e quatro condicionamentos de sementes: Controle, priming 1 ( $\Psi_h$  - 0,4 MPa), priming 2 ( $\Psi_h$  -0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Azul) e priming 3 ( $\Psi_h$  -0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Âmbar). Sementes de feijão-caupi “BRS Tapaihum”, foram utilizadas nesse estudo.

Para a simulação do estresse hídrico (-0,4 Mpa) foi utilizado Polietilenoglicol 6000 (PEG 6000, Neon, PA), diluído em água destilada, para o cálculo da quantidade de PEG 6000 neste estudo foi utilizado 5,46 g em 30 ml de água, conforme proposto por Villela (1991) e Braccine (1998).

A concentração de silício (200 mg L<sup>-1</sup>) foi utilizada na forma de micropartícula vítreas proveniente de garrafas de vidro âmbar e azul, o tamanho das micropartículas vítreas eram de aproximadamente < 400 µm. Para obtenção das micropartículas vítreas, garrafas de bebidas de vidro âmbar e azul foram coletadas do aterro municipal de Toledo, Paraná, Brasil.

Posteriormente, após aplicações dos condicionamentos, as caixas contendo as sementes foram acondicionadas em câmaras de germinação tipo Biochemical Oxygen Demand B.O.D (MA 402, Marconi, Brasil). O tempo de aplicação do condicionamento foi de 18 h, período necessário para embebição das sementes sem que haja a conclusão do processo de germinação (Alencar et al., 2024). Posteriormente, as sementes foram transferidas para caixas Gerbox<sup>®</sup> sem tampa, com duas camadas de papel germitest secas, e submetidas à secagem nas mesmas condições de luminosidade e temperatura utilizadas durante condicionamento por 48 h, para que as sementes retornassem ao seu peso seco inicial, conforme estabelecido pela metodologia de Masruri et al. (2023).

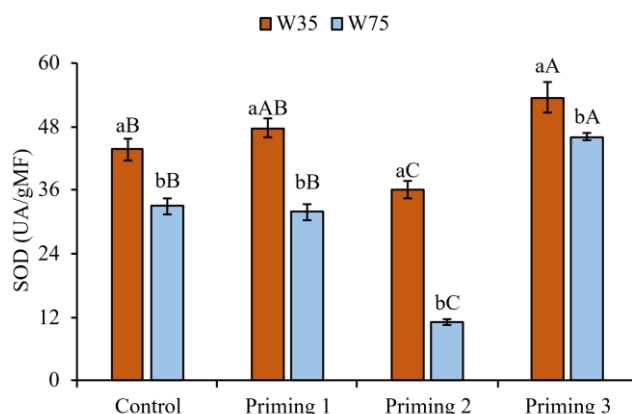
As sementes preparadas foram semeadas em vasos de polietileno com capacidade volumétrica de 3,6 L preenchidos com solo, a irrigação foi realizada diariamente, utilizando-se o método de pesagem, no qual, a água perdida pela evapotranspiração foi repostada (Silva et al., 2020).

A restrição hídrica iniciou-se aos oito dias após a emergência, com a reposição de 35% e 75% do consumo de água. Aos 20 dias após a emergência, correspondente ao estágio fenológico V5, foram avaliadas a atividade enzimática de superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX).

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro – Wilk (Shapiro & Wilk, 1965). Atendidos os pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $P < 0,05$ ), seguidos pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) para as combinações de primings, e pelo teste t (LSD) ( $P \leq 0,05$ ) para os níveis de reposição hídrica, utilizando-se o software estatístico SISVAR® v. 5.6 (Ferreira, 2019).

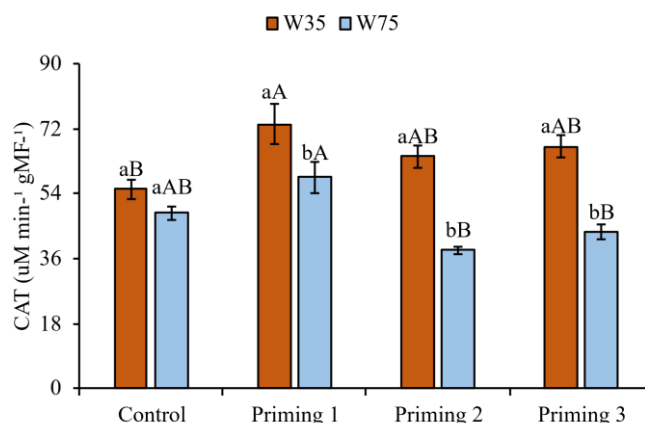
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A atividade de superóxido dismutase (SOD) aumentou sob estresse (W35) com os condicionamentos P3 e P1, contudo o condicionamento com P2 resultou em diminuição na atividade da SOD, equivalente a 32,74% em relação a P3. Sem estresse (W75), a maior atividade da SOD também foi verificada no P3, e o condicionamento com P2 proporcionou a menor atividade, resultando em diminuição de 75,95% na atividade da SOD (Figura 1A)



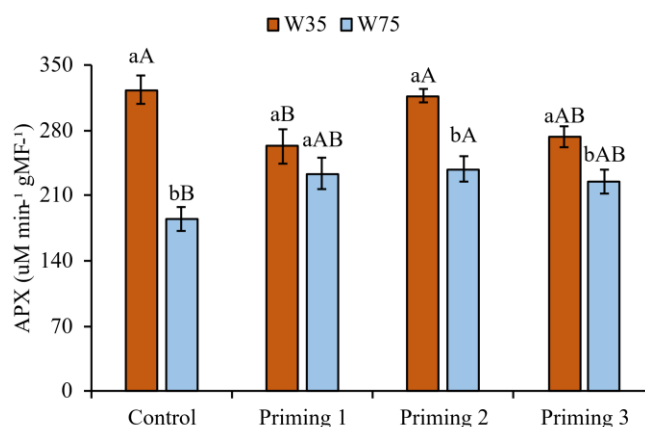
**Figura 1.** Superóxido dismutase (SOD) em feijão-caupi “BRS Tapaihum” submetidas a diferentes condicionamentos – controle, priming 1 ( $\Psi_h - 0,4$  MPa), priming 2 ( $\Psi_h - 0,4$  MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Azul) e priming 3 ( $\Psi_h - 0,4$  MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Âmbar) e dois níveis de reposição de hídrica (W35 e W75). Letras maiúsculas diferenciam os primings dentro das lâminas (Tukey  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ).

A catalase (CAT) sob estresse W35 apresentou maior atividade no P1, não diferindo estatisticamente do P2 e P3, apenas as plantas do controle obtiveram as menores atividades. Entretanto, sem estresse W75 a maior atividade foi verificada nas plantas condicionadas com P1, e os condicionamentos com micropartículas vítreas azul e âmbar como fontes de silício (P2 e P3) proporcionaram diminuição na sua atividade, equivalentes 34,55% e 25,90%, respectivamente (Figura 2).



**Figura 2.** Catalase (CAT) feijão-caupi “BRS Tapaihum” submetidas a diferentes condicionamentos – controle, priming 1 ( $\Psi_h$  - 0,4 MPa), priming 2 ( $\Psi_h$  - 0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Azul) e priming 3 ( $\Psi_h$  - 0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Âmbar) e dois níveis de reposição de hídrica (W35 e W75). Letras maiúsculas diferenciam os primings dentro das lâminas (Tukey  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ).

Com relação a Ascorbato peroxidase (APX) sob condição de estresse W35 as maiores atividades foram obtidas nas plantas controle, P2 e P3, apenas o P1 resultou em diminuição na APX. Sem estresse W75 os condicionamentos P2, P1 e P3 também resultaram em aumento da atividade da APX, e as plantas do controle obtiveram menor atividade (Figura 3).



**Figura 3.** Ascorbato peroxidase (APX) em feijão-caupi “BRS Tapaihum” submetidas a diferentes condicionamentos – controle, priming 1 ( $\Psi_h$  - 0,4 MPa), priming 2 ( $\Psi_h$  - 0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Azul) e priming 3 ( $\Psi_h$  - 0,4 MPa + 200 mg L<sup>-1</sup> de Si Âmbar) e dois níveis de reposição de hídrica (W35 e W75). Letras maiúsculas diferenciam os primings dentro das lâminas (Tukey  $P < 0,05$ ) e letras minúsculas diferenciam as lâminas de irrigação (t-student  $P < 0,05$ ).

A SOD desempenha um papel fundamental na conversão de radicais superóxido ( $O_2^-$ ) em peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), enquanto a CAT catalisa a decomposição de  $H_2O_2$  em água e oxigênio, evitando o acúmulo de espécies reativas de oxigênio e a subsequente peroxidação lipídica nas membranas celulares (Queiroz et al., 2024).

A modulação das enzimas antioxidantes (SOD, CAT, APX) forneceu insights importantes sobre o manejo do estresse oxidativo. Embora o estresse hídrico em V5 (W35) tenha aumentado a atividade dessas enzimas para combater as Espécies reativas de oxigênio (EROs), os condicionamentos de sementes resultaram em diminuições na atividade enzimática. Em V5 sob estresse (W35), as maiores atividades de SOD e CAT foram observadas no P1 (PEG 6000). No entanto, os condicionamentos com micropartículas vítreas azul e âmbar como fontes de silício proporcionaram reduções significativas na atividade de SOD e CAT em relação a SOD e CAT (Figura 1 e 2).

## CONCLUSÕES

O PEG 6000 induziu uma "memória de estresse", permitindo aumento da atividade enzimática de superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) na cultivar “BRS Tapaihum” sob déficit hídrico. O condicionamento de sementes com micropartículas vítreas azul e âmbar como fonte de silício e com PEG 6000 é uma estratégia promissora para mitigar os efeitos do estresse hídrico em feijão-caupi.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), código financeiro 001. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de auxílio financeiro (Proc. 408952/2021-0 e 307559/2022-0), Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (Fapesq/PB) (Edital FapesqPB/CNPq no. 77/2022), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical (INCTAgris), Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Laboratório de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas (Ecolab).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, Rayanne Silva et al. Seed priming with residual silicon-glass microparticles mitigates water stress in cowpea. **Scientia Horticulturae**, v. 328, p.112933, 2025.
- BRACCINI, A. et al. Influência do potencial hídrico induzido por polietilenoglicol na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 9, n. 33, p. 1451-1459, 1998.
- CAVALCANTE, Igor Eneas et al. Water status, cell integrity, and growth of cowpea plants under water restriction and salicylic acid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 29, n. 5, p. e283012, 2025.
- FERREIRA, Daniel Furtado. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- MASRURI, M. H. K et al. Application of Nano Chitosan-glycinebetaine for Improving Bread Wheat Performance under Combined Drought and Heat Stresses. **Journal Of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, n. 3, p. 3482-3499, 2023.
- MEHER et al. Effect of PEG-6000 imposed drought stress on RNA content, relative water content (RWC), and chlorophyll content in peanut leaves and roots. **Saudi journal of biological sciences**, v. 25, n. 2, p. 285-289, 2018.
- QUEIROZ, L. L. G. D. et al. Foliar Silicon Alleviates Water Deficit in Cowpea by Enhancing Nutrient Uptake, Proline Accumulation, and Antioxidant Activity. **Plants**, v.14, n. 8, p. 1241, 2025.
- SARDAR, Haseeba et al. Unveiling the therapeutic and nutritious potential of *Vigna unguiculata* in line with its phytochemistry. **Heliyon**, v. 10, n.18, p. e37911, 2024.
- SHAPIRO, S. S., & WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n.3, p. 591-611, 1965.
- VILLELA, F.A. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietilenoglicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, p. 1957- 1968, 1991.