

## SILÍCIO NA FISILOGIA DE MUDAS DE MARACUJAZEIRO-AMARELO SOB ESTRESSE SALINO

Fabiano Simplicio Bezerra<sup>1</sup>, Walter Esfrain Pereira<sup>2</sup>, Isabel Cristina dos Santos Oliveira<sup>3</sup>, Lourival Ferreira Cavalcante<sup>4</sup>, Fábio Araújo dos Santos<sup>5</sup>, Francisco Thiago Coelho Bezerra<sup>6</sup>

**RESUMO:** O estresse causado pela salinidade da água de irrigação é um problema comum nas regiões áridas e semi-áridas. O objetivo foi avaliar o papel do silício na fisiologia de mudas de maracujazeiro-amarelo sob estresse salino. O experimento foi conduzido em ambiente protegido. Os tratamentos foram obtidos com base na matriz Composto Central de Box da combinação de doses do silício (0,0; 29; 100; 171 e 200 mg dm<sup>-3</sup>) e condutividades elétrica da água de irrigação (0,3; 0,9; 2,4; 3,9 e; 4,5 dS m<sup>-1</sup>). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. Aos 60 DAE o valor máximo 3,1 na eficiência no uso de água (EUA) foi verificado com a dose de 199,0 mg dm<sup>-3</sup> de silício sob a salinidade de 4,4 dSm<sup>-1</sup>, promovendo um aumento de 6,5% comparado com a ausência do silício. O silício melhorou a permeabilidade da membrana plasmática o que acarretou incremento na eficiência no uso da água. A aplicação da dosagem 199,0 mg dm<sup>-3</sup> de silício em mudas de maracujazeiro-amarelo cultivado sob estresse salino de 4,4 dSm<sup>-1</sup> promove efeitos positivos na eficiência do uso da água aos 60 DAE.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Passiflora edulis* Sims, salinidade, doses de silício

## SILICON IN THE PHYSIOLOGY OF YELLOW PASSION FRUIT SEEDLINGS UNDER SALINE STRESS

**ABSTRACT:** The stress caused by the salinity of irrigation water is a common problem in arid and semi-arid regions. The objective was to evaluate the role of silicon in the physiology of yellow passion fruit seedlings under saline stress. The experiment was conducted in a protected environment. The treatments were obtained based on the Central Compound Box

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, doutorando em Engenharia Agrícola, UFRPE, CEP 52171-900, Recife, PE. Fone (81) 33206279. E-mail: fabianoagro14@gmail.com.

<sup>2</sup>Professor, Doutor do Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais, UFPB, Areia, PB.

<sup>3</sup>Mestre em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba, Areia-Paraíba.

<sup>4</sup>Professor, Doutor do Programa de Pós-graduação em Agronomia, UFPB, Areia, PB.

<sup>5</sup>Mestre em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB.

<sup>6</sup>Doutor, bolsista PNPd, Programa de Pós-graduação em Agronomia, UFPB, Areia, PB.

matrix of the combination of doses of silicon (0.0; 29; 100; 171 and 200 mg dm<sup>-3</sup>) and electrical conductivities of irrigation water (0.3; 0.9; 2.4; 3.9 and; 4.5 dS m<sup>-1</sup>). The experimental design was in randomized blocks, with four replications. At 60 DAE the maximum value 3.1 in the water use efficiency (WUE) was verified with the dose of 199.0 mg dm<sup>-3</sup> of silicon under the salinity of 4.4 dSm<sup>-1</sup>, promoting an increase of 6.5% compared to the absence of silicon. Silicon improved the permeability of the plasma membrane, which led to an increase in water use efficiency. The application of the 199.0 mg dm<sup>-3</sup> dosage of silicon in yellow passion fruit seedlings grown under 4.4 dSm<sup>-1</sup> saline stress promotes positive effects on the efficiency of water use at 60 DAE.

**KEYWORDS:** *Passiflora edulis* Sims, salinity, doses of silicon

## INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e consumidor de maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims) do mundo (JESUS et al., 2018), sendo a região Nordeste a maior produtora, seguida pelo Sudeste, Sul, Norte e Centro Oeste (IBGE, 2019). No entanto, o rendimento desta cultura pode ser afetado pelos danos causados pela salinidade da água de irrigação.

O estresse causado por salinidade é um problema comum nas regiões agrícolas áridas e semi-áridas do mundo (AHMED et al., 2016). Portanto à elevada salinidade tende a diminuir a fotossíntese e a eficiência do uso da água, levando a planta à seca fisiológica e também à toxicidade de íons, reduzindo assim à produtividade e os rendimentos agrícolas das culturas (SHAHID et al., 2018).

O silício (Si) é tido como segundo elemento com maior abundância, compreendendo 29% da crosta terrestre (HAYNES, 2014). Ultimamente as pesquisas têm comprovado os efeitos benéficos do silício sob várias condições bióticas e abióticas no crescimento das plantas (ZIA et al., 2017). Por outro lado, a sua essencialidade ainda não foi comprovada na literatura por falta de evidências concretas sobre sua função na fisiologia dos vegetais (DEHGHANIPOODEH et al., 2018).

Plantas suplementadas com silício são capazes de elevar a condutância estomática e transpiração sob estresse salino, devido a uma redução no Na<sup>+</sup>, em virtude da deposição do Si na raiz (RIOS et al., 2017). O silício também proporciona maior resistência e dureza para as paredes celulares (MA & YAMAJI, 2006), resultando em folhas mais eretas, vindo a melhorar a interceptação de luz, colaborando para melhores taxas fotossintéticas (ZANETTI et al., 2016).

O objetivo deste experimento foi avaliar o papel do silício na fisiologia de mudas de maracujazeiro-amarelo sob estresse salino.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido com cobertura plástica transparente de 150 micras e tela com malha de 50 mm nas laterais, no Viveiro de Fruticultura do Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais, no Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, município de Areia, estado da Paraíba, Brasil.

Os tratamentos foram obtidos com base na matriz Composto Central de Box (MONTGOMERY, 2013) da combinação entre doses de silício (0,0; 29; 100; 171 e; 200 mg dm<sup>-3</sup>) e condutividades elétricas da água de irrigação (0,3; 0,9; 2,4; 3,9 e; 4,5 dS m<sup>-1</sup>). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. A parcela foi composta por 16 mudas, sendo avaliadas três mudas retiradas aleatoriamente em cada período.

O substrato constou da mistura do Neossolo Regolítico e esterco curtido de gado bovino na proporção de 2:1, respectivamente. Foi retirada uma amostra do substrato para caracterização (fertilidade e salinidade) e propriedades físicas (TEIXEIRA et al., 2017). Os valores para fertilidade foram: 7,1 de pH, 0,0; 3,7; 1,6; 0,3 e 2,9 cmolc dm<sup>-3</sup> para hidrogênio e alumínio, cálcio, magnésio, sódio; potássio respectivamente. 80,4 mg dm<sup>-1</sup> de fósforo e; 24,2 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica. Quanto a salinidade 7,7 de pH e 5,1 dSm<sup>-1</sup> da condutividade elétrica do extrato de saturação. Em relação as características físicas do substrato, obteve-se 79% de areia, 13,5% de silte e 7,5% de argila. 1,3 e 2,5 kg dm<sup>-3</sup> para a densidade do solo e da partícula, respectivamente e porosidade de 48,0%.

A adubação foi feita com base nos teores dos nutrientes determinados na caracterização do substrato, elevando os teores de fósforo e nitrogênio para e 300 e 100 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente (NOVAES et al., 1991). Não foi adicionado potássio devido ao elevado teor do nutriente no substrato.

Em sacos de polietileno com capacidade de 1,5 dm<sup>3</sup> preenchidos com 1 kg de substrato colocou-se três sementes na profundidade de 1 cm. Após emergência foi mantida uma planta por saco. O silício foi aplicado na forma líquida via solo, utilizando a fonte silicato de potássio (EKOSIL), composição química K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> e teor total de silício de 25%. A irrigação foi realizada diariamente, observando-se a umidade da superfície e impedindo a drenagem.

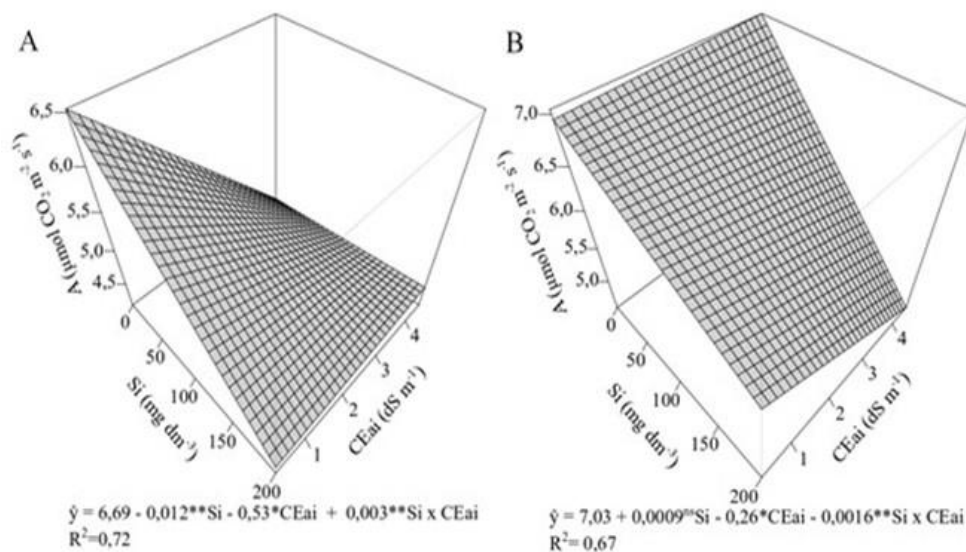
Aos 60 e 75 (DAE) no turno da manhã (8-12h). Foram mensuradas: taxa de fotossíntese líquida (A,  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); concentração interna de carbono (ci,  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ); transpiração foliar (E,  $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e a eficiência instantânea no uso da água (EUA-A/E) [ $(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$ ].

Os dados foram submetidos a análise de variância e regressão pelo teste F ( $p \leq 0,10$ ). Os pontos de máxima das equações foram calculados utilizando algoritmo genético, disponível no pacote GA (Scrucca, 2013). A análise estatística foi realizada no software R versão 3.5.3.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O maior valor 6,5 para fotossíntese líquida (A) aos 60 DAE, foi obtido com a dose de 0,3  $\text{mg dm}^{-3}$  de silício sob a salinidade de 0,3  $\text{dSm}^{-1}$  (Figura 1A). Aos 75 DAE, o valor máximo 7,0 na fotossíntese líquida (A), foi na dose de 194,5  $\text{mg dm}^{-3}$  com a salinidade de 0,3  $\text{dSm}^{-1}$ , registrando aumento em 1,2% na fotossíntese líquida da muda comparado a ausência do silício (Figura 1B).

Os resultados deste experimento confirmam os efeitos que o silício tem em atenuar efeitos abióticos (salinidade), a partir do aumento da fotossíntese líquida aos 75 DAE, nas mudas de maracujazeiro que receberam silício na dosagem de 194,5  $\text{mg dm}^{-3}$ , sob salinidade da água de irrigação de 0,3  $\text{dSm}^{-1}$ . O aumento na fotossíntese líquida, nos tratamentos com a presença do silício sob condição de estresse provavelmente está associado a um aumento da atividade das enzimas fotossintéticas no teor de clorofila e condutância estomática (AL-HUQAIL et al., 2019).

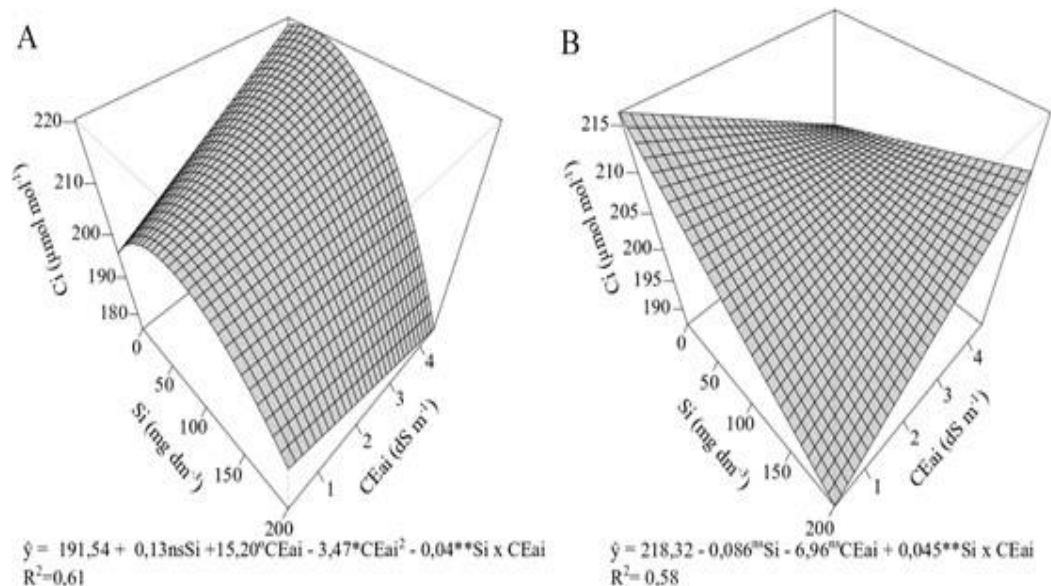


\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

**Figura 1.** Taxa fotossintética líquida (A) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

Aos 60 DAE o valor máximo 220,3 para a concentração interna de carbono ( $c_i$ ) foi obtido com a dose de 199,5  $\text{mg dm}^{-3}$  de silício, sob salinidade de 0,9  $\text{dSm}^{-1}$ , o que possibilitou em incremento de 8,0% na concentração interna de carbono comparado a ausência de silício (Figura 2A). Já aos 75DAE, o valor máximo 216,1 para a concentração interna de carbono foi obtido com a dose 0,4  $\text{mg dm}^{-3}$  de silício sob a salinidade de 0,3  $\text{dSm}^{-1}$  (Figura 2B).

Essa melhoria na concentração interna de carbono pela aplicação do silício em condição de salinidade, está atrelado à redução de íons como o  $\text{Na}^+$  que são tóxicos aos cloroplastos nos vegetais (AL-HUQAIL et al., 2019). Semelhante aos resultados deste experimento, Abbas et al. (2015) observaram uma maior concentração interna de carbono devido à aplicação de silício em tomate e quiabo sob a estresse salino.



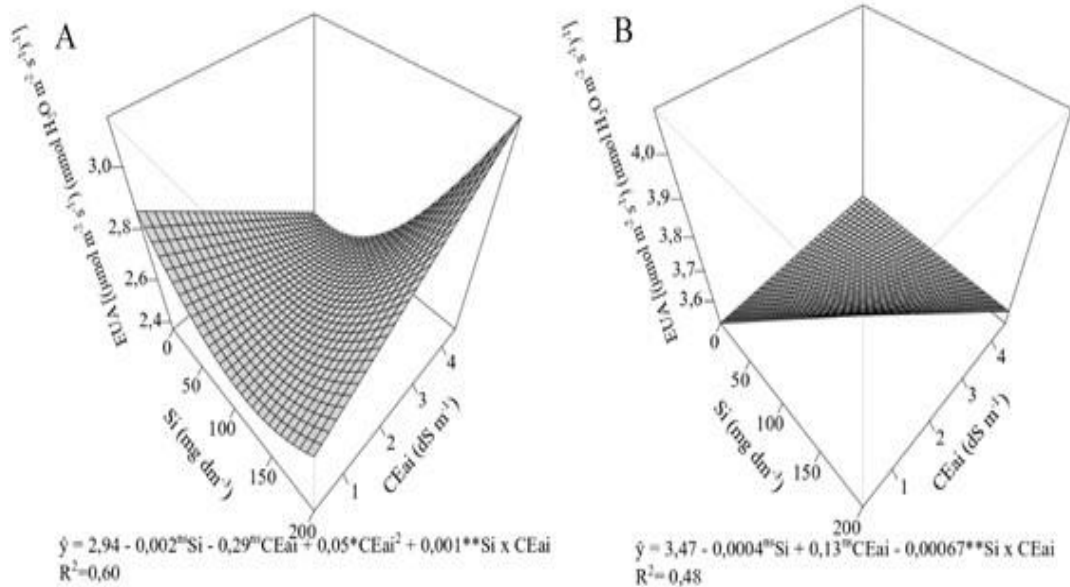
\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

**Figura 2.** Concentração interna de carbono ( $c_i$ ) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

Aos 60 DAE o valor máximo 3,1 na eficiência no uso de água (EUA) foi verificado com a dose de 199,0  $\text{mg dm}^{-3}$  de silício sob a salinidade de 4,4  $\text{dSm}^{-1}$ , promovendo um aumento de 6,5 % comparado com a ausência do silício (0  $\text{mg dm}^{-3}$ ) (Figura 3A). Para os 75 DAE o valor máximo na EUA 4,1 foi obtido na dosagem de 0,4  $\text{mg dm}^{-3}$  de silício sob salinidade de 4,5  $\text{dSm}^{-1}$ . Entretanto a salinidade de 4,5  $\text{dSm}^{-1}$  reduziu a EUA em 14% comparado com a salinidade de 0,3  $\text{dSm}^{-1}$  em mudas de maracujazeiro amarelo (Figura 3B).

Os resultados deste experimento aos 60 DAE para a EUA estão em consonância com Parveen & Ashraf (2010), que descobriram que a aplicação de silício aumentou significativamente a EUA em plantas de milho sob a condição de estresse salino. Provavelmente, isso ocorreu devido ao papel do silício em aliviar o estresse por salinidade,

através da manutenção da parede celular melhorando a permeabilidade da membrana plasmática (AL-AGHABARY et al., 2005) o que acarretou em melhoria para a eficiência no uso da água (PARVEEN & ASHRAF, 2010). Por outro lado, a redução na EUA aos 75 DAE devido a salinidade de 4,5 dSm<sup>-1</sup>, indica uma sensibilidade das mudas de maracujazeiro ao estresse salino.

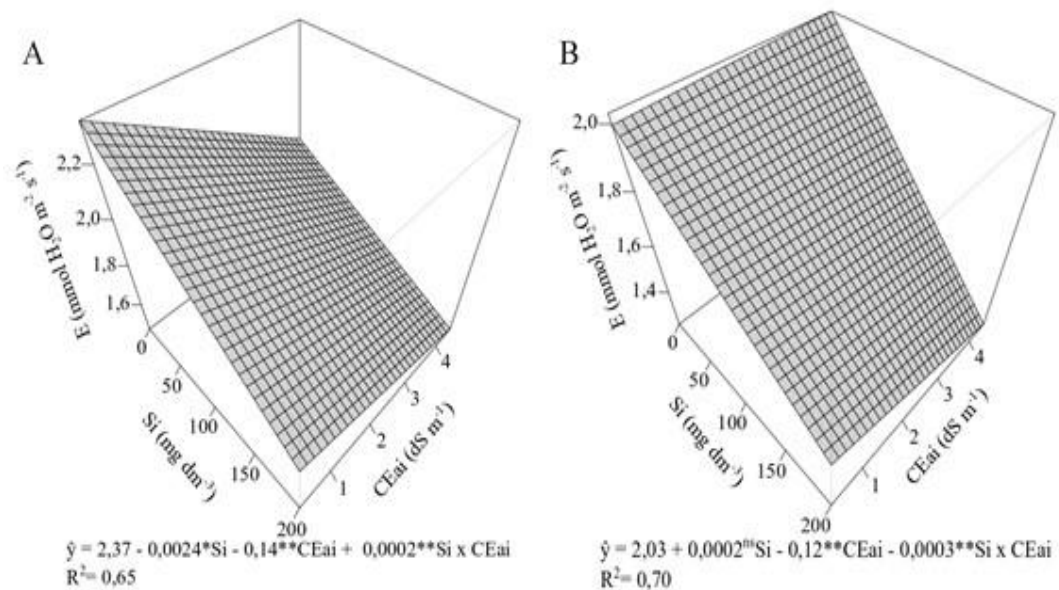


\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

**Figura 3.** Eficiência no uso de água (EUA) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

O maior valor 2,3 para transpiração foliar (E) aos 60 DAE, foi obtido com a adição de 0,68 mg dm<sup>-3</sup> de silício sob salinidade de 0,3 dS m<sup>-1</sup> (Figura 4A). Aos 75 DAE o valor máximo 2,0 para transpiração foliar foi obtido pela combinação entre a dose de silício 199,62 mg dm<sup>-3</sup> e a condutividade elétrica da água de irrigação 0,3 dS m<sup>-1</sup>, correspondendo a um aumento de 1,5% na transpiração foliar comparado com a ausência do silício (0 mg dm<sup>-3</sup>) (Figura 4B).

Um aumento na transpiração foliar é devido a abertura estomática que é diretamente ligada à taxa fotossintética e à transpiração, em que, simultaneamente, a planta absorve CO<sub>2</sub> para o processo fotossintético; e perde água para a atmosfera pelo processo de transpiração (PINTO et al., 2012). O efeito positivo do silício aos 75 DAE na transpiração foliar; provavelmente ocorreu devido ao mesmo ser depositado nas paredes celulares das folhas promovendo melhorias para as propriedades mecânicas das células sob condições de estresse (SOUKUP et al., 2017).



\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

**Figura 4.** Transpiração foliar (E) de mudas de maracujazeiro-amarelo em função de doses de silício (Si) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) aos 60 (A) e 75 (B) dias após emergência (DAE).

## CONCLUSÕES

A aplicação da dosagem 199,0 mg dm<sup>-3</sup> de silício em mudas de maracujazeiro-amarelo cultivado sob estresse salino de 4,4 dSm<sup>-1</sup> promove efeitos positivos na eficiência do uso da água (EUA) aos 60 DAE.

A dose de 199,5 mg dm<sup>-3</sup> de silício atenua os danos causados pela salinidade de 0,9 dSm<sup>-1</sup> na concentração interna de carbono (ci) aos 60 DAE.

## AGRADECIMENTOS

A equipe LOFECA, CCA/UFPB e a CAPES.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAS, T.; BALAL, R. M.; SHAHID, M. A.; PERVEZ, M. A.; AYYUB, C. M.; AQUEEL, M. A.; JAVAID, M. M. Silicon-induced alleviation of NaCl toxicity in okra (*Abelmoschus esculentus*) is associated with enhanced photosynthesis, osmoprotectants and antioxidant metabolism. **Acta physiologiae plantarum**, v. 37, n. 2, p. 1-15, 2015.

AHMED, M. Z.; GUL, B.; KHAN, M. A.; WATANABE, K. N. Characterization and Function of Sodium Exchanger Genes in *Aeluropus lagopoides* Under NaCl Stress. *In: Halophytes for Food Security in Dry Lands*. Academic Press, 2016. p. 1-16.

AL-HUQAIL, A. A.; ALQARAWI, A. A.; HASHEM, A.; MALIK, J. A.; ABD\_ALLAH, E. F. Silicon supplementation modulates antioxidant system and osmolyte accumulation to balance salt stress in *Acacia gerrardii* Benth. **Saudi journal of biological sciences**, v. 26, n. 7, p. 1856-1864, 2019.

DEGHANIPOODEH, S.; GHOBADI, C.; BANINASAB, B.; GHEYSARI, M.; SHIRANIBIDABADI, S. Effect of silicon on growth and development of strawberry under water deficit conditions. **Horticultural Plant Journal**, v. 4, n. 6, p. 226-232, 2018.

HAYNES, R. J. A contemporary overview of silicon availability in agricultural soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 177, n. 6, p. 831-844, 2014.

IBGE. SIDRA (2019). Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 20 out. 2020.

JESUS, C. A. S. D.; CARVALHO, E. V. D.; GIRARDI, E. A.; ROSA, R. C. C.; JESUS, O. N. D. et al. Fruit quality and production of yellow and sweet Passion fruits in northern state of São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 2, p. 1-7, 2018.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in plant science**, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006.

MONTGOMERY, D.C. **Design e análise de experimentos**. 7.ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2013. 724 p.

NOVAES, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. de. Ensaio em ambiente controlado. *In: OLIVEIRA, A. J., GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D., LOURENÇO, S. Método de Pesquisa em Fertilidade do Solo*. Brasília: Embrapa - SEA. p.189-253, 1991.

PARVEEN, N. U. S. R. A. T.; ASHRAF, M. U. H. A. M. M. A. D. Role of silicon in mitigating the adverse effects of salt stress on growth and photosynthetic attributes of two maize (*Zea mays* L.) cultivars grown hydroponically. **Pakistan Journal of Botany**, v. 42, n. 3, p. 1675-1684, 2010.

PINTO, D. G.; AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S.; SILVA, D. M.; SIQUEIRA, P. R.; CAO, J. R.; ZANETTI, L. V. Alterações fisiológicas após aplicação de silício em cacau e sua influência na preferência por pulgões. **Revista Ceres**, v. 59, p. 360-367, 2012.



RIOS, J. J.; MARTÍNEZ-BALLESTA, M. C.; RUIZ, J. M.; BLASCO, B.; CARVAJAL, M. Silicon-mediated improvement in plant salinity tolerance: the role of aquaporins. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 1-10, 2017.

SCRUCCA, L. G. A. A Package for Genetic Algorithms in R. **Journal of Statistical Software**, v. 53, n. 4, p. 1-37, 2013.

SHAHID, S. A.; ZAMAN, M.; HENG, L. Soil salinity: Historical perspectives and a world overview of the problem. In: **Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques**. Springer, Cham, 2018. p. 43-53.

SOUKUP, M.; MARTINKA, M.; BOSNIĆ, D.; ČAPLOVIČOVÁ, M.; ELBAUM, R.; LUX, A. Formation of silica aggregates in sorghum root endodermis is predetermined by cell wall architecture and development. **Annals of botany**, v. 120, n. 5, p. 739-753, 2017.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMAS, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solos**. 3<sup>a</sup> ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017. 573p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

ZANETTI, L. V.; MILANEZ, C. R. D.; GAMA, V. N.; AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S.; CAMPOSTRINI, E.; FERRAZ, T. M.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. D. Leaf application of silicon in young cacao plants subjected to water deficit. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 3, p. 215-223, 2016.

ZIA, Z.; BAKHAT, H. F.; SAQIB, Z. A.; SHAH, G. M.; FAHAD, S.; ASHRAF, M. R.; HAMMAD, H. M.; NASEEM, W.; SHAHID, M. Effect of water management and silicon on germination, growth, phosphorus and arsenic uptake in rice. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 144, p. 11-18, 2017.