

## EFEITO DAS NANOPARTICULAS DE SILICIO NA FOTOSÍNTESE DO TOMATEIRO SOB ESTRESSE SALINO

Aldeir Ronaldo Silva<sup>1</sup>, Laura Ximena Nuñez Rodriguez<sup>2</sup>, Francynes da Conceição Oliveira  
Macedo<sup>3</sup>, Fabia Barbosa da Silva<sup>4</sup>, Gabriel Silva Daneluzzi<sup>5</sup>,  
Ricardo Ferraz de Oliveira<sup>6</sup>

**RESUMO:** O desenvolvimento de estratégias para garantir o rendimento das culturas em solos salinos representa uma importante prioridade de pesquisa, para territórios que apresentam solos suscetíveis à salinidade. Objetivou-se no trabalho foi avaliar a aplicação de nanopartículas de Si, em plantas de tomateiro submetidas a concentrações salinas. Para esta finalidade, plantas de tomateiro do cultivar IPA 06 foram cultivadas em casa de vegetação. O delineamento foi em blocos casualizados (DBC) com esquema fatorial de 2x3 composto por três níveis de salinidade da água de irrigação (0, 25 e 40 mM) e dois níveis de nanopartículas de silício (0; 500 mgL<sup>-1</sup>). Foram avaliados os seguintes parâmetros: taxa fotossintética (A,  $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), taxa de transpiração (E,  $\text{mmol}(\text{H}_2\text{O}) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática (*gs*,  $\text{mol}(\text{H}_2\text{O}) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), concentração interna de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>,  $\mu\text{mol} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Os resultados mostraram que plantas de tomateiro apresentaram reduções com o aumento da concentração de NaCl, detectando estresse sobre as plantas. Os efeitos da salinidade na atividade fotossintética foram atenuados nas plantas com aplicação de nanopartículas de Si.

**PALAVRAS-CHAVE:** Nanotecnologia, atividade fotossintética, sal.

## EFFECT OF SILICON NANOPARTICLES IN PHOTOSYNTHESIS OF TOMATO UNDER SALT STRESS

**ABSTRACT:** The development of strategies to guarantee the yield of crops in saline soils represents an important research priority for territories with soil susceptible to salinity. The

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, doutorando direto em Fisiologia e Bioquímica de Plantas ESALQ/USP, Cx. Postal 9, Piracicabas. Fone (19) 3429-4458. E-mail: aldeirronaldo@usp.br.

<sup>2</sup> Graduanda em Engenharia Agroecológica, Universidade da Amazonia, Caquetá, Colômbia.

<sup>3</sup> Doutora em Fisiologia e Bioquímica de Plantas, Pós-Doutoranda, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

<sup>4</sup> Mestre em Ciências Agrárias, doutoranda em Fisiologia e Bioquímica de planta ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

<sup>5</sup> Doutor em Fisiologia e Bioquímica de Plantas, Piracicaba, SP.

<sup>6</sup> Prof. Doutor do departamento de Ciências Biológicas da ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

objective of this work was to evaluate the application of Si nanoparticles in tomato plants submitted to salt concentrations. For this purpose, tomato plants of the cultivar IPA 06 were grown under greenhouse conditions. A 2x3 factorial scheme (DBC) with three irrigation water salinity levels (0, 25 and 40 mM) and two levels of silicon nanoparticles (0; 500 mgL<sup>-1</sup>) was used. The following parameters were evaluated: photosynthetic rate (A,  $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-1}\text{ s}^{-1}$ ), transpiration rate (E,  $\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ), stomatal conductance (gs,  $\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), internal CO<sub>2</sub> concentration (Ci,  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ) and water potential (Mpa) of plants. The results showed that tomato plants presented reductions with the increase of NaCl concentration, detecting stress on the plants. The effects of salinity on the photosynthetic activity were attenuated in plants with application of Si nanoparticles.

**KEYWORDS:** Nanotechnology, photosynthetic activity, salt.

## INTRODUÇÃO

As áreas do mundo dedicadas para produção agrícola, são cada vez mais restritas devido à salinização dos solos (GOYKOVIC; SAAVEDRA, 2007), processo frequentemente acelerado por irrigação prejudicial, má drenagem e fertilização inadequada (HAYWARD; WADLEIGH, 1945; PLAZEK et al., 2013). Dados atuais mostram que a área de terra afetada pela salinidade mundial é de aproximadamente 1125 milhões de hectares, dos quais aproximadamente 76 milhões são afetados pela salinização e sodificação induzida pelo homem (HOSSAIN, 2019).

O aumento da salinização representa uma ameaça real para a terra cultivável, pois provavelmente pode levar à perda de 30% da terra nos próximos 25 anos e até 50% até o ano 2050 (GHOSH et al., 2011). A salinidade provoca um estresse osmótico imposto externamente, por altas concentrações de íons no solo, ou internamente, quando o excesso de absorção de sal resulta em alto acúmulo de quantidades tóxicas de vários íons dentro dos espaços intercelulares (PATADE; BHARGAVA; SUPRASANNA, 2011; RAZZAGHI et al., 2011). Além disso, a aquisição excessiva de sal se torna mais prejudicial para as plantas, pois reduz o oxigênio molecular por elétrons altamente e o converte em espécies reativas de oxigênio (ERO) (GHOSH et al., 2011). Conseqüentemente, o desenvolvimento de estratégias para garantir o rendimento das culturas em solos salinos representa uma prioridade de pesquisa (JENKS; HASEGAWA, 2005). Estudos mostraram que alguns elementos, ditos

benéficos, podem contribuir para uma melhor adaptação das plantas a condições adversas (NUNES et al., 2018).

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre após o oxigênio (MA; YAMAJI, 2008), é benéfico ou essencial do ponto de vista agrônômico (LIANG et al., 2003) já que depois de ser absorvido pelas plantas, é depositado principalmente nas paredes celulares das células da epiderme, contribuindo substancialmente para o fortalecimento da estrutura da planta (PAES et al., 2010), verificou-se que a presença de Si nas plantas alivia muitos estresses *abióticos* e bióticos mas o modo como o Si é capaz de exercer esse efeito protetor ainda não foi totalmente elucidado, embora tenham sido propostos papéis, incluindo o fornecimento de um sistema de defesa físico e / ou bioquímico (CURRIE; PERRY, 2007).

Entre os efeitos estão o baixo coeficiente de transpiração, com melhor aproveitamento da água, maior teor de clorofila, maior área fotossintética e maior absorção de CO<sub>2</sub>, proteção contra estresses abióticos e maior rigidez estrutural dos tecidos com maior resistência mecânica de células (ALBUQUERQUE et al., 2011). Dessa forma, o objetivo deste estudo foi investigar o efeito fisiológico da aplicação de nanopartículas de silício em plantas de tomateiro submetidos a crescentes concentrações salinas, uma possível influência nos parâmetros fotossintético.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido da Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo localizada no município de Piracicaba-SP. O delineamento experimental utilizado foi em blocos cauzalizados, com fatorial 2 x 3 referente a duas dosagem de nanopartículas de silício (0 e 500 mg L<sup>-1</sup>) e três níveis de concentração de NaCl (0, 25 e 40 mM) na água de irrigação, que equivale a condutividade elétrica (0,0; 2,5; 4,0 dS m<sup>-3</sup>) respectivamente, cada tratamento teve duas repetição distribuído em três blocos, totalizando 36 unidade experimentais. A variedade utilizada foi o Tomateiro IPA 06 do, a semeadura foi realizada em bandejas com 90 células. Após 15 dias da semeadura foi realizado o transplântio das mudas de tomateiro, onde colocou-se três plântulas por vaso com capacidade de 5 litros. Substrato foi composto por vermiculita, argila laminada (2,5mm) e argila expandida (6 a 15 mm) na relação (1:1:1). Foi realizada a determinação da capacidade de vaso (capacidade de campo), sendo realizados em vasos com capacidade de 5 litros consistindo de 3 repetições. Os vasos foram pesados e depois preenchidos com substrato com

um peso conhecido, em seguida será adicionada uma lâmina de água que permita a saturação do substrato, já que foram utilizadas bandejas para reter o conteúdo de água drenado. Após cessar a drenagem, os vasos serão presados novamente para obtenção do valor de capacidade de campo por diferença (CASAROLI & LIER, 2008). A irrigação foi solução nutritiva será realizada diariamente. A formulação utilizada será a solução de Hoagland & Arnon (1950), conforme os valores citados na tabela 1.

**Tabela 1.** Fonte de nutriente e composição química do fertilizante Miracle-Gro®, empregado na formulação da solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950).

<b>Fonte</b>	<b>Quantidade g L<sup>-1</sup></b>
Fertilizante Miracle-Gro®	0,46
Cloreto de potássio (KCl)	0,1
Cloreto de cálcio (CaCl <sub>2</sub> )	0,26
Cloreto de Magnésio (MgCl <sub>2</sub> )	0,1
Ferro-EDTA	1,0 MI
<b>Composição química do produto Miracle-Gro®</b>	
<b>Nutriente</b>	<b>Quantidade (%)</b>
Nitrogênio Total	24
Fósforo (P)	8
Potássio (K)	16
Boro (B)	0,02
Cobre (Cu)	0,07
Ferro (Fe)	0,15
Manganês (Mn)	0,05
Molibdênio (Mo)	0,0005
Zinco (Zn)	0,06

À aplicação de silício foi realizada aos 28, 45 e 55 dias após a semeadura, onde foi adicionado 200 ml da solução de silício sob uma concentração de 500 mg L<sup>-1</sup>, a fonte de silício utilizada foi o fertilizante de nanopartículas de Si, solúvel em água, da empresa MKnano®, com granulometria de 20 a 30 nm, apresentando 99,8 % de pureza. Para as medições pontuais de trocas gasosas foi utilizado o medidor de gases no infravermelho portátil (IRGA) da LI-COR modelo LI6400 (Li-cor®, Nebraska, EUA). A medida foi realizada sempre no 4° ou 5° folíolo da quarta folha a partir do ápice da planta entre as 8h:30min às 11h:30min do dia no período fisiológico de florescimento. Os parâmetros avaliados foram taxa fotossintética (A,  $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ), taxa de transpiração (E,  $\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática (gs,  $\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci,  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ). Os dados foram submetidos à análise de variância e pelo teste 'F', as médias relacionadas ao tratamento referente a salinidade e silício foram submetidas e ao teste

de Tukey a níveis de 5 e 1 % de probabilidade. Foi utilizado o software Sisvar®. Todas as análises foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2019).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

**Tabela 2.** Taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A,  $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), taxa de transpiração (E,  $\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática (gs,  $\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), eficiência no uso da água (EUA, de plantas de tomateiro irrigada com água salina e com aplicação de nanopartículas de silício (Si).

	A	Gs	Ci	E	EUA	FV/FM
<b>Salinidade</b>	$p = 0.03^{\text{ns}}$	$p = 0.432^{\text{ns}}$	$p = 0.689^{\text{ns}}$	$p = 0.0001^{***}$	$p = 0.004^{**}$	$p = 0.636^{\text{ns}}$
<b>0 mM NaCl</b>	11.06 ± 0.60	0.36 ± 0.02	337±6.30	5.77±0.59	2.35±0.11	0.81±0.00
<b>25 mM NaCl</b>	9.56 ± 0.61	0.40 ± 0.03	343±3.30	5.20±0.23	1.77±0.08	0.80±0.00
<b>40 mM NaCl</b>	8.78 ± 0.43	0.34±0.03	339±5.19	4.47±0.20	1.75±0.16	0.80±0.00
<b>Adição de Si</b>	$p = 0.790^{\text{ns}}$	$p = 0.247^{\text{ns}}$	$p = 0.798^{\text{ns}}$	$p = 0.001^{**}$	$p = 0.927^{\text{ns}}$	$p = 0.028^*$
<b>Sem</b>	9.72 ± 0.68	0.35 ± 0.01	339±4.71	5.51±0.41	1.97±0.15	0.81±0.00
<b>Com</b>	9.89 ± 0.36	0.39± 0.03	340±3.45	4.78±0.24	1.95±0.11	0.80±0.00
<b>Salinidade:Si</b>	$p = 0.089^{\text{ns}}$	$p = 0.245^{\text{ns}}$	$p = 0.554^{\text{ns}}$	$p = <0.001^{***}$	$p = 0.034^*$	$p = 0.301^{\text{ns}}$
$\lambda$				-1,3		

Média±erro padrão; p-value: <sup>ns</sup>= não significativo; \*, \*\* e \*\*\*= significativos aos níveis de 5, 1 e <1 % pelo teste F;

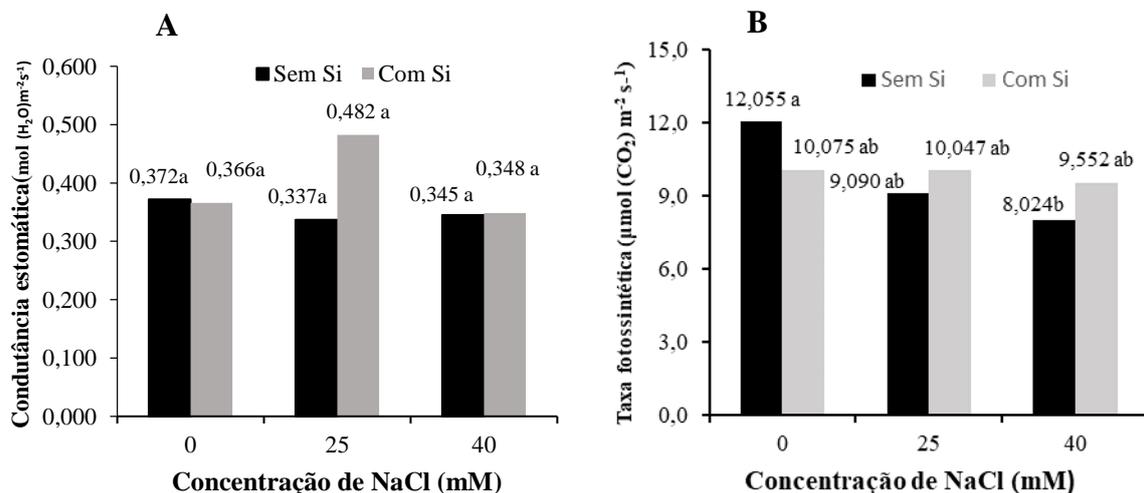
Os dados de transpiração não apresentaram normalidade e homogeneidade de variância e foram transformados usando a função “boxcox” do pacote “MASS” do R. Os valores de lâmbida que maximizam a função foram extraídos e substituídos na fórmula:  $YT=Y\lambda-1/\lambda$  (Box & Cox, 1964).

De acordo com a Figura 1A, as médias da condutância estomática não diferiram estatisticamente entre tratamentos. Observa-se que a ausência de silício no tomateiro irrigado com água de 25 mM NaCl (2,5 dS m<sup>-3</sup>), resultou na redução da condutância estomática em 30,6 %. De forma oposta as plantas com silício irrigadas com água de 25 mM (2,5 dS m<sup>-3</sup>) aumentaram em 23 % a condutância estomática. Segundo os estudos de TATAGIBA, (2014) encontrou decréscimos nas variáveis de trocas gasosas nas folhas de tomateiro submetidas às crescentes concentrações salinas, a gs pode ter diminuído devido a menor disponibilidade de água para as raízes, por esta razão tendem a fechar rapidamente os estômatos, o que pode ser confirmado pelo estresse salino imposto pelo crescente aumento na concentração de NaCl.

Estes resultados estão de acordo com os de ZUCCARINI,(2008) que encontrou em plantas de feijão, redução significativa da condutância estomática com aplicações de NaCl, mas as plantas tratadas com silício mostraram padrões semelhantes às não tratadas com

salinidade, isso demonstra os efeitos benéficos das aplicações de silício que atenuam os efeitos do estresse salino evidenciado nos resultados obtidos. Já a taxa fotossintética (Figura 1 B) das plantas com silício reduziu 10,7 % em função do aumento da concentração de 0 a 40 mM de NaCl, redução essa inferior as plantas sem silício que foi de 28,7 % sob os mesmos níveis. Os resultados concordam com Ferraz, (2015) o qual observou que o aumento da concentração salina da água de irrigação promoveu redução do conteúdo fotossintéticos.

Esses resultados podem ser atribuídos principalmente à redução de condutância estomática (DE HERRALDE et al., 1998; MELONI et al., 2003), no entanto, Segundo TATAGIBA et al., (2014), as reduções significativas encontradas em A podem também ser atribuída à perda de pigmentos fotossintéticos nas folhas de tomateiro imposta pelas crescentes concentrações salinas, uma vez que clorofilas e carotenóides são parte integrante do complexo antena de captação de luz para o processo fotossintéticos. Além disso, a taxa reduzida de fotossíntese aumenta a formação de espécies reativas de oxigênio (ERO) e aumenta a atividade de enzimas que desintoxicam essas espécies (MUNNS; TESTER, 2008). Segundo ZUCCARINI (2008), a adição de Si à água de irrigação pode melhorar os efeitos negativos do NaCl no crescimento e em importantes parâmetros ecofisiológicos. Os resultados obtidos neste trabalho concordam com o exposto, demonstrando que a aplicação de silício influencia positivamente a fisiologia do tomate em condições de estresse.



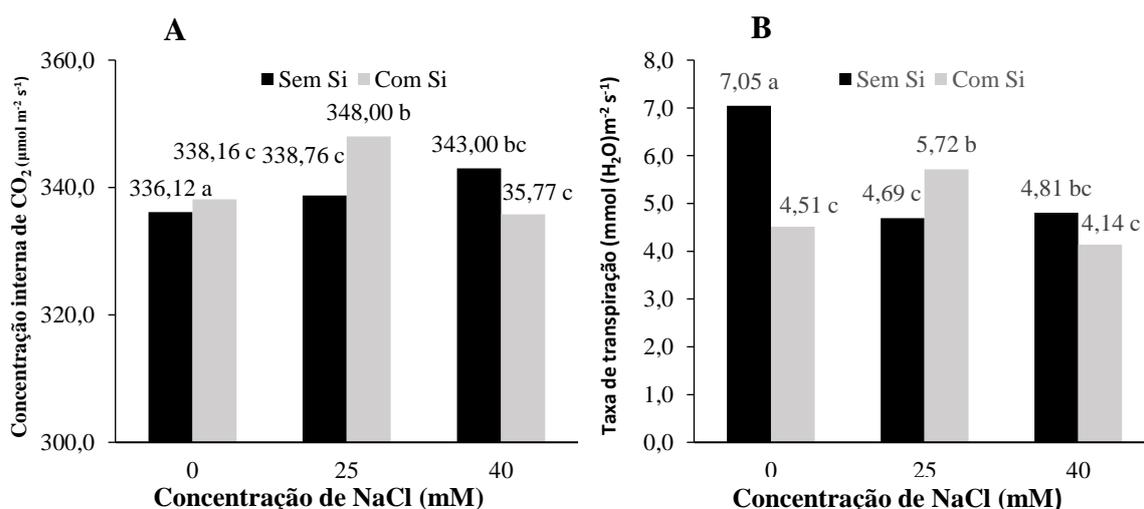
**Figura 1.** Taxa fotossintética (A) e condutância estomática (B) do tomateiro sob diferente concentração de NaCl na solução nutritiva, com uso de nanopartículas de silício.

De acordo com a Figura 2A a concentração interna de CO<sub>2</sub> não diferiu estaticamente entre os tratamentos. As nanopartículas de silício proporcionaram às plantas maior concentração interna de CO<sub>2</sub> sob a concentração de 25 mM de NaCl, correspondeu um aumento de 3,49% em comparação com o controle. Esse mesmo aumento também foi

observado nas plantas sem silício, apresentando um aumento de 2 % valor esse inferior às plantas com silício.

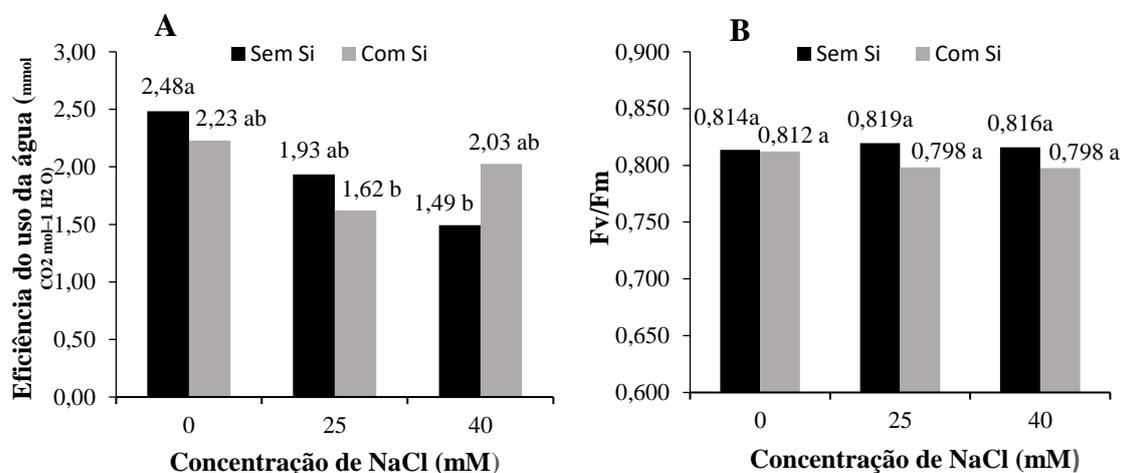
TATAGIBA et al (2014) relatam que aumentos de  $C_i$ , significam que o  $CO_2$  que está chegando às células do mesófilo não está sendo fixado na fase de carboxilação da ribulose 1,5 bifosfato carboxilase-oxigenase (rubisco), possivelmente por danos em sua estrutura, reduzindo então a taxa fotossintética. O aumento da salinidade reduziu a taxa de transpiração (Figura 1B) nas plantas sem aplicação de silício em torno de 24 %, valor esse superior aos das plantas com silício que foi de 20,7% entre os níveis de 0 a 40 mM respectivamente. Segundo MORALES et al., (2015) a redução da disponibilidade de água no solo causa aumento da temperatura das folhas, devido à redução da transpiração, principal mecanismo responsável pelo resfriamento da planta, já que sob condições moderadas de estresse, as plantas permanecem com os estômatos fechados, para manter maior potencial hídrico e pressão ideal do turgor, (BORBA et al., 2017).

Os resultados concordam com os obtidos por MORALES et al.,(2015), os quais concluíram que plantas de tomateiro submetidas ao estresse apresentam diminuição da transpiração das plantas. Da mesma maneira o silício teve efeitos positivos de acordo com o trabalho de NUNES et al ., (2018), que demonstraram que por meio do uso do silício algumas características como fotossíntese e transpiração podem ser mantidas, ou menos afetadas pelo estresse, da mesma maneira Camargo (2016) explica que o Si pode evitar a compressão dos vasos quando há altas taxas de transpiração pelas plantas ocasionada pelo estresse (CAMARGO, 2016).



**Figura 2.** Concentração interna  $CO_2$  (A) e taxa de transpiração (B) do tomateiro sob diferente concentração de NaCl na solução nutritiva, com uso de nanopartículas de silício.

O aumento da salinidade promoveu uma redução da eficiência no uso da água (Figura 3A) sem aplicação de silício, essa redução ocorreu na ordem de 39.9% entre o menor e o maior valor de NaCl na água. Todavia a imposição de silício promoveu efeito diferente na concentração de 40 mM ( 4,0 sD m<sup>-3</sup>), que repercutiu no aumento de 26,6 % de eficiência superior as plantas sem aplicação de silício sob mesma concentração de NaCl. Esse efeito esta relacionado com a diminuição da absorção de sodio e menor redução do status de água na planta. Onde aplicação de silício melhorou a condutancia hidraulica de plantas de sorgo atraves da regulação das proteínas aquoporinas atenuando os efeito induzido pelo sal e estresse osmotico (LIU et al., 2015).



**Figura 3.** Valores de eficiência no uso da água (A) e relação flurencencia variavel sobre flurescencia maxima; Fv/Fm (B) de plantas de tomateiro submetido ao estresse salino e aplicação de nanopartículas de silício.

## CONCLUSÕES

A aplicação de nanopartículas de silício em plantas da cultivar IPA 06 cultivadas sob estresse salino em ambiente protegido, apresenta efeito positivo em grande parte dos parâmetros avaliados mesmo em função do aumento da concentração de NaCl, de forma mais acentuada na taxa fotossintética e condutância estomática, podendo assim admitir que este elemento atue de forma benéfica para o desenvolvimento da planta, o que permite estudos futuros em função da dosagem e época de aplicação de silício no tomateiro.

## AGRADECIMENTOS

A Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ/USP), CAPES e USP.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, M. et al. Aplicação de silício em milho e feijão de corda sob estresse salino. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 42, n. 2, p. 398–403, 2011.
- BORBA, M. E. A. et al. Gas exchanges and water use efficiency in the selection of tomato genotypes tolerant to water stress. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2, 2017.
- Box, G.E.P., Cox, D.R., 1964. An analysis of transformations. **J. Royal Soc.** 26, 211e252.
- CAMARGO, M. S. **Efeito do silício na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2016. (Informações Agronômicas, 155), 2016.
- CURRIE, H. A.; PERRY, C. C. Silica in plants: Biological, biochemical and chemical studies. **Annals of Botany**, v. 100, n. 7, p. 1383–1389, 2007.
- DE HERRALDE, F. et al. Effect of water and salt stresses on the growth, gas exchange and water relations in *Argyranthemum coronopifolium* plants. **Plant Science**, v. 139, n. 1, p. 9–17, 1998.
- FERRAZ, R. L. DE S. et al. Photosynthetic pigments, cell extrusion and relative leaf water content of the castor bean under silicon and salinity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 9, p. 841–848, 2015.
- GHOSH, N. et al. Differential responses of two rice varieties to salt stress. **Plant Biotechnology Reports**, v. 5, n. 1, p. 89–103, 2011.
- GOYKOVIC, V.; SAAVEDRA, G. Algunos Efectos De la Salinidad en el Cultivo de tomate y prácticas agronomicas de su manejo. **Idesia**, v. 25, n. 3, p. 47–58, 2007.
- HAYWARD, H.; WADLEIGH, C. Plant growth relations on saline and alkali soils. **The Botanical Review**, v. 11, n. 4, p. 181–230, 1945.
- HOSSAIN, S. Present Scenario of Global Salt Affected Soils , its Management and Importance of Salinity Research. **Int. Res. J. Biol. Sci**, v. 1, n. 1, p. 1–3, 2019.
- JENKS, M.; HASEGAWA, M. **Plant Abiotic Stress Edited by**. Indiana, USA: [s.n.].
- LIANG, Y. et al. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). **Journal of Plant Physiology**, v. 160, n. 10, p. 1157–1164, 2003.
- MA; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 65, n. 19, p. 3049–3057, 2008.

- MELONI, D. A. et al. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 49, n. 1, p. 69–76, 2003.
- MORALES, R. et al. Caracterização Do Tomateiro Submetido Ao Déficit Hídrico Characterization of Tomato Plants Subjected To Water Deficit. **Scientia Agraria**, v. 16, n. 1, p. 9–17, 2015.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 651–681, 2008.
- NUNES, A. et al. Efeito da adubação silicatada no cultivo de tomateiro sob estresse hídrico. **Irriga, botucatu**, v. 1, n. 2, p. 29–33, 2018.
- PAES, J. et al. Avaliação do silício como atenuador dos efeitos da salinidade na nutrição mineral de clones de anacardium occidental. **Engenharia Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 144–156, 2010.
- PATADE, V. Y.; BHARGAVA, S.; SUPRASANNA, P. Salt and drought tolerance of sugarcane under iso-osmotic salt and water stress: Growth, osmolytes accumulation, and antioxidant defense. **Journal of Plant Interactions**, v. 6, n. 4, p. 275–282, 2011.
- PLAZEK, A. et al. Investigation of the salt tolerance of new Polish bread and durum wheat cultivars. **Acta Physiol Plant**, v. 35, n. 8, p. 2513–2523, 2013.
- RAZZAGHI, F. et al. Water Relations and Transpiration of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Under Salinity and Soil Drying. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 197, p. 348–360, 2011.
- TATAGIBA, S. D. et al. limitações fotossintéticas em folhas de plantas de tomateiro submetidas a crescentes concentrações salinas. **Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng**, v. 22, n. 2, p. 138–149, 2014.
- ZUCCARINI, P. Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. **Biologia Plantarum**, v. 52, n. 1, p. 157–160, 2008.
- Liu, P., Yin, L., Wang, S., Zhang, M., Deng, X., Zhang, S., et al. (2015). Enhanced root hydraulic conductance by aquaporin regulation accounts for silicon alleviated salt-induced osmotic stress in *Sorghum bicolor* L. **Environ. Exp. Bot.** 111, 42–51. doi10.1016/j.envexpbot.2014.10.006.