

Revista  
**Ciência, Tecnologia & Ambiente**

## Efeito atenuador do silício no desenvolvimento inicial de amendoim submetido ao estresse por alumínio e salinidade

Mitigation effect of silice on the initial development of peanuts submitted to stress by aluminum and salinity

Fernanda Miotti<sup>1\*</sup>, Mirela Vantini Checchio<sup>2</sup>, Mayara Cristina Malvas Nicolau<sup>2</sup>,  
Priscila Lupino Gratão<sup>3</sup>, Gilmar da Silveira Sousa Junior<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ciências Biológicas, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária – FCAV, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil. \*Autor para correspondência: fernanda.miotti@unesp.br

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária – FCAV, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil.

<sup>3</sup> Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária – FCAV, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil.

<sup>4</sup> Instituto Municipal de Ensino Superior de Bebedouro “Victório Cardassi” – IMESB, Bebedouro, SP, Brasil.

**Como citar:** MIOTTI, F.; CHECCHIO, M.V.; NICOLAU, M.C.M.; GRATÃO, P.L.; SOUSA JUNIOR, G.S., 2021. Efeito atenuador do silício no desenvolvimento inicial de amendoim submetido ao estresse por alumínio e salinidade. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente*, vol. 11, e11203. <https://doi.org/10.4322/2359-6643.11203>

### RESUMO

O amendoim (*Arachis hypogea* L.) é uma cultura oleaginosa de grande potencial para alimentação humana, produção de biocombustíveis e forragicultura, podendo se expandir para novas áreas de cultivo que apresentam limitações ao seu crescimento, como alta concentração de alumínio (Al) e salinidade. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de constatar se o silício (Si) vinculado ao tratamento de sementes atenua os efeitos da salinidade e da toxicidade de Al no desenvolvimento inicial de plantas de amendoim. Dois experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x2, com três concentrações de Al<sup>3+</sup> (0; 54 e 216 mg.L<sup>-1</sup>) ou três concentrações de salinidade (0; 30 e 60 µM de NaCl), na ausência e presença de silicato de cálcio (0,0 e 200 µM) no tratamento de sementes, com quatro repetições em cada tratamento. Sendo que as sementes foram imersas por 40 min em solução 1,0 mmol.L<sup>-1</sup> de silicato de cálcio, enquanto as testemunhas foram imersas em água destilada, com quatro repetições por tratamento. Após o processo de embebição, uma semente foi semeada por vaso (300 mL), que foram preenchidos com substrato de pó de coco. As plantas foram cultivadas em solução nutritiva por 30 dias contendo os devidos tratamentos. Ao final deste período, foram verificados os parâmetros de crescimento através das avaliações de altura, comprimento de raiz, número de folíolos e massa seca da parte aérea e raiz. As plantas jovens de amendoim demonstraram sensibilidade à salinidade e a toxicidade de Al, com efeito deletério no crescimento, evidenciados pela queda no desenvolvimento das plantas, destacando os resultados das raízes e folhas, nos tratamentos de estresse salino. Desta forma, tratamento de sementes com Si contribuiu para a atenuação dos estressores.

**Palavras-chave:** *Arachis hypogea* L., estresse abiótico, silicato.

### ABSTRACT

Peanut (*Arachis hypogea* L.) is an oleaginous crop with great potential for human consumption, production of biofuels and forage, and may expand to new cultivation areas that present limitations to its growth, such as high concentration



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

of aluminum (Al) and salinity. This work was carried out with the objective of verifying if silicon (Si) linked to seed treatment attenuates the effects of salinity and Al toxicity in the initial development of peanut plants. Two experiments were carried out in a completely randomized design, in a 3x2 factorial scheme, with three concentrations of Al<sup>3+</sup> (0; 54 and 216 mg.L<sup>-1</sup>) or three concentrations of salinity (0, 30 and 60 µM of NaCl), in the absence and presence of calcium silicate (0.0 and 200 µM) in the seed treatment, and the seeds were immersed for 40 min in a 1.0 mmol.L<sup>-1</sup> calcium silicate solution, with four repetitions per treatment. While the seeds were immersed for 40 min. controls were immersed in distilled water, with four replications per treatment. After the imbibition process, one seed was sown per pot (300 mL), which were filled with coconut powder substrate. Plants were cultivated in nutrient solution for 30 days containing the appropriate treatments. At the end of this period, the growth parameters were verified through the evaluations of height, root length, number of leaflets and shoot and root dry mass. Young peanut plants showed sensitivity to salinity and Al toxicity, with a deleterious effect on growth, evidenced by the drop in plant development, highlighting the results of roots and leaves in the saline stress treatments. Thus, seed treatment with Si contributed to the attenuation of stressors.

**Keywords:** *Arachis hypogea* L., abiotic stress, silicate.

---

## INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogea* L.) é uma leguminosa bastante cultivada no Brasil, principalmente em sistemas rotativos com cana-de-açúcar (Martins e Pitelli, 1994). Entretanto, ele vem ganhando destaque como cultura principal em virtude de sua ampla variedade de usos. O grão apresenta altos índices de vitaminas (Freire et al., 2013) e de proteína (Fávero, 2004), tornando-o de grande interesse na nutrição humana, e também animal. Seu óleo também é de grande interesse à produção de biocombustíveis, devido aos seus altos teores de ácido oléico e linoléico (Santos et al., 2012).

Em função desta grande versatilidade a cultura do amendoim possui grande potencial de expansão para diversas regiões. Aliada a esta condição, o amendoim possui uma larga plasticidade genética, permitindo que seja explorado em locais com condições climáticas variadas (Duarte et al., 2013). Dentre estes ambientes, podem ser incluídas áreas com limitações para a agricultura, como solos com altas concentração de alumínio (Al) e sais.

O Al é o terceiro elemento químico mais abundante na crosta terrestre, e em situação de pH abaixo de 5,5, dissocia-se das estruturas minerais de argila para a solução do solo, estabelecendo-se em concentrações entre 10 e 350 mmol L<sup>-1</sup> (Machado, 1997). Sendo um fator limitante para o desenvolvimento de culturas agrícolas nas regiões correspondentes ao bioma Cerrado (Ferreira et al., 2006), o qual ocupa em torno de 23%

do território nacional (Guareschi et al., 2012). Altas concentrações de Al promovem alterações fisiológicas em plantas, como o engrossamento e encurtamento das raízes (Couto et al., 2012).

Cerca de 20% das áreas cultivadas do mundo são afetadas pela salinidade (Tuteja et al., 2012). Este problema vem se agravando com o avanço da irrigação em áreas de terras marginais de regiões semiáridas e com o uso de águas de baixa qualidade, o que incrementa o acúmulo de sais nos solos (Ribeiro, 2010). A salinidade atinge algumas regiões do Nordeste brasileiro, onde a agricultura familiar é altamente expressiva e o cultivo do amendoim torna-se uma alternativa rentável, especialmente por ser uma oleaginosa e poder oferecer mais um produto ao setor de óleos vegetais para o segmento de biocombustíveis (Pereira et al., 2012).

Por outro lado, o silício (Si) vem sendo intensamente estudado como um potencial atenuador dos efeitos de estresses abióticos e bióticos, sendo considerado um elemento benéfico, apesar de não essencial (Teodoro et al., 2015). Apesar de seus efeitos benéficos, sabe-se que este elemento pode estar pouco disponível às plantas devido aos elevados teores de sesquióxidos de Al e Fe, os quais adsorvem intensamente Si (Malavolta, 2006). Em função disso, o fornecimento de Si às plantas vem demonstrando resultados promissores na atenuação dos efeitos de estresses, por aplicações foliares (Teodoro et al., 2015) ou via solo (Moro et al., 2015).

O tratamento de sementes com silício também é considerado uma alternativa interessante no incremento de efeitos benéficos à produtividade relacionada à indução de tolerância aos estresses (Teodoro et al., 2015). Todavia, os estudos do tratamento de sementes de amendoim ainda são escassos, apesar de serem necessários para a expansão da cultura para novas regiões.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do Si em tratamento de sementes como atenuador de estresses por Al e salinidade no desenvolvimento inicial de plantas de amendoim.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em casa de germinação no Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP - Campus de Jaboticabal, a temperatura média foi de  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa média de 60%. A cultivar de amendoim utilizada foi a OL3, cujas sementes foram adquiridas por meio da empresa “Sementes Esperança”, localizada em Jaboticabal, SP. Dois experimentos foram realizados concomitantemente, objetivando avaliações isoladas e pertinentes ao estresse por Al e salinidade.

Para ambos os experimentos, foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições por tratamento, sendo que para cada tratamento foi utilizado somente uma planta. Os tratamentos foram organizados em um esquema fatorial 3x2, com três concentrações de estresse salino (0; 30 e 60  $\mu\text{M}$  de NaCl) ou três concentrações de Al (0; 54 e 216  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$ ) e duas concentrações de silicato de cálcio em tratamento de sementes (0  $\mu\text{M}$  e 200  $\mu\text{M}$ ) para os dois experimentos.

Previamente à semeadura em vasos, as sementes de amendoim foram imersas por uma hora em solução 200  $\mu\text{M}$  de silicato de potássio, enquanto as testemunhas foram imersas em água destilada. Após o processo de embebição, uma semente foi semeada por vaso (300 mL), que foram preenchidos com o substrato de pó de coco. Após o preenchimento dos vasos, foram aplicados 150 mL de solução Hoagland e Arnon (1950), a 50% de sua concentração total, com pH ajustado a 5,6. A esta solução, foram adicionadas alíquotas de cloreto de sódio

de forma a obter as concentrações salinas supracitadas. Já para o experimento de estresse por Al, a solução nutritiva teve sua quantidade de fósforo diminuída em 10 vezes, com o objetivo de evitar a complexação com o Al, além de conter em sua formulação diferentes quantidades de  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , para caracterizar as concentrações de  $\text{Al}^{3+}$  desejadas. A solução nutritiva era posta toda vez que a capacidade de campo dos vasos chegava em 60%. Após a emergência, as plantas permaneceram por mais 15 dias, totalizando 30 dias da semeadura até a avaliação.

Para as análises de comprimento de raiz e altura de plântulas, foi utilizada uma régua convencional. As raízes foram lavadas em água corrente para retirada do substrato. Para o comprimento de raiz, foi considerada a distância entre o colo da plântula até a extremidade apical das raízes, enquanto a altura das plântulas foi medida entre o espaçamento do colo até a gema apical. Para determinação de massa seca da parte aérea e das raízes, essas foram acondicionadas em sacos de papel, e em seguida postas para secar por 72 horas a 60  $^{\circ}\text{C}$  em estufa. Após este período, obteve-se a massa seca dessas plantas com o auxílio de uma balança analítica. Para uma melhor avaliação, o número de folhas foi feito através do número de folíolos, onde foi contado o folíolo que estava com total área expandida. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR (Ferreira, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O  $\text{Al}^{3+}$  se mostrou tóxico às plântulas de amendoim, diminuindo o comprimento de suas raízes sob a concentração de 216  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Tabela 1). Todavia, observou-se que a presença de silício, em todas as concentrações de Al, contribuiu para a indução do crescimento radicular. O tratamento de sementes com Si permitiu que, mesmo sob o estresse mais elevado (216  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de  $\text{Al}^{3+}$ ), o comprimento de raízes permanecesse equivalente ao do tratamento testemunha sem estresse e sem aplicação de Si. Tal resultado é de grande importância, tendo-se em vista que raízes maiores permitem a exploração de um maior volume de solo, contribuindo para uma maior resistência a outros tipos de estresse, tal como o déficit hídrico (Soares, 2016). A presença conjunta de Si

envolvendo sementes e Al em solução pode ter resultado em complexação entre os íons, gerando aumento de concentrações de ácidos orgânicos no interior das raízes, diminuindo a toxidez de Al (Piñeros et al., 2002).

A massa seca de raízes não foi afetada de forma significativa pelas concentrações crescentes de Al, apesar de o estresse ter causado diminuição em seu comprimento (Tabela 1). Sob alta concentração, o  $Al^{3+}$  tende a se concentrar nas raízes, o que apesar de retardar seu desenvolvimento, pode ocasionar um aumento do diâmetro de raízes (Mattiello et al., 2008). Esse aumento de diâmetro está relacionado a um maior acúmulo de pectinas e outros polissacarídeos nas paredes das células radiculares, o que acaba por aumentar a sua massa (Guimarães et al., 2006). Dessa forma, raízes mais espessas em condições de estresse podem ter contribuído para a estabilidade da massa seca de raízes, mesmo com menor comprimento.

Segundo Lana et al. (2013), a altura de plantas é um dos sinais mais evidentes da toxicidade por Al, a qual reduz ou até mesmo inviabiliza o crescimento aéreo em espécies variadas, como pinhão-manso (Steiner et al., 2012) e videira (Tecchio et al., 2006). Entretanto, no presente trabalho, a presença de Al na solução não causou redução na altura de plântulas, tampouco afetou o desenvolvimento de folíolos (Tabela 2). O tratamento de sementes com Si não resultou em incremento de altura

de plântulas, resultado este condizente com o caráter não-essencial do Si às plantas. Entretanto, a massa seca da parte aérea foi reduzida devido ao estresse por Al, sem adição de Si (Tabela 2). Konrad et al. (2005) observaram que o Al causa reduções significantes nas taxas de assimilação de  $CO_2$  atmosférico, o que resulta em menor ganho de massa da parte aérea de plantas.

O Si resultou em massa seca constante, não havendo diferenças significativas devido aos diferentes estresses por Al. Nas concentrações de Al de  $54\text{ mg L}^{-1}$  e  $216\text{ mg L}^{-1}$ , a presença de Si levou a um aumento da massa seca da parte aérea das. Raízes mais desenvolvidas permitem uma melhor absorção de água e nutrientes, favorecendo o desenvolvimento da parte aérea de plantas. Uma das hipóteses para explicar a menor toxidez por Al na presença de Si é a formação de compostos aluminossilicatos na parede celular do córtex da raiz, inibindo a movimentação do Al para o protoplasma e translocação para os órgãos aéreos (Freitas et al., 2015).

O desenvolvimento de raízes de amendoim na presença do estressor salino e sem Si não apresentou redução significativa até a concentração de  $60\text{ }\mu\text{M}$ , na qual o seu comprimento se tornou quase nulo (Tabela 3). Isso se deve porque na ocorrência de alto teor de sais no substrato, o processo germinativo passa a ser tardio, devido principalmente à diminuição do potencial osmótico do substrato, o que prejudica as demais fases

**Tabela 1.** Biometria da parte radicular de plântulas de amendoim em função de doses de silício e concentrações de alumínio.

Concentrações de $Al^{3+}$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Comprimento (cm)		Massa seca (g)	
	Doses de silício ( $\mu\text{M}$ )			
	0	200	0	200
0	21,78 aA	28,75 aA	0,10 aA	0,12 aA
54	18,00 aB	27,51 aA	0,16 aA	0,11 aA
216	9,13 bB	19,00 bA	0,10 aA	0,15 aA

Teste de Tukey aplicado nas linhas (letras maiúsculas) e colunas (letras minúsculas). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância.

**Tabela 2.** Biometria da parte aérea de plântulas de amendoim em função de doses de silício e concentrações de alumínio.

Concentrações de $Al^{3+}$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Altura (cm)		Massa seca (g)		Nº de Folíolos	
	Doses de silício ( $\mu\text{M}$ )					
	0	200	0	200	0	200
0	6,25 aA	6,50 aA	0,23 aA	0,18 aA	8,00 aA	8,00 aA
54	5,75 aA	7,13 aA	0,15 abB	0,21 aA	9,00 aA	8,00 aA
216	6,75 aA	6,00 aA	0,10 bB	0,16 aA	8,00 aA	8,00 aA

Teste de Tukey aplicado nas linhas (letras maiúsculas) e colunas (letras minúsculas). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância.

**Tabela 3.** Biometria da parte radicular de plântulas de amendoim em função de doses de silício e concentrações de NaCl.

Concentrações de NaCl ( $\mu\text{M}$ )	Comprimento (cm)		Massa seca (g)	
	Doses de silício ( $\mu\text{M}$ )			
	0	200	0	200
0	22,34 aA	24,00 aA	0,08 aA	0,13 aA
30	17,72 aA	15,71 abA	0,05 aA	0,08 abA
60	1,06 bB	12,02 bA	0,00 bB	0,06 bA

Teste de Tukey aplicado nas linhas (letras maiúsculas) e colunas (letras minúsculas). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância.

**Tabela 4.** Biometria da parte aérea de plântulas de amendoim em função de doses de silício e concentrações de NaCl.

Concentrações de NaCl ( $\mu\text{M}$ )	Altura (cm)		Massa seca (g)		Nº de Folíolos	
	Doses de silício ( $\mu\text{M}$ )					
	0	200	0	200	0	200
0	5,30 aA	5,60 aA	0,16 aA	0,22 aA	8,0 aA	8,0 aA
30	3,61 aA	3,63 aA	0,10 aA	0,12 aA	5,3 abB	8,0 aA
60	0,00 bB	4,03 aA	0,00 bA	0,13 aB	0,00 bB	6,7 aA

Teste de Tukey aplicado nas linhas (letras maiúsculas) e colunas (letras minúsculas). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância.

do processo desenvolvimento vegetal (Harter et al., 2014). A presença de silício no tratamento salino de 60  $\mu\text{M}$ , permitiu reverter o não crescimento causado pelo estressor salino, na ausência de silício.

Conforme observado neste experimento, a salinidade acarreta redução drástica no desenvolvimento radicular, impulsionada por efeitos como maior lignificação e geração de espécies reativas de oxigênio nestes tecidos (Neves et al., 2010). A presença de Si permitiu que a massa seca de raízes submetidas às diferentes concentrações salinas fosse equivalente ao valor encontrado em plantas livres do estresse.

Observou-se que as plântulas de amendoim não tiveram redução significativa da massa seca de parte aérea e número de folíolos até a concentração de 30  $\mu\text{M}$  de NaCl (Tabela 4), mas que esta concentração impediu o desenvolvimento destes tecidos, conforme já evidenciado nas medições de altura; resultado semelhante foi observado para a massa seca de raízes. O estresse salino diminui excessivamente o potencial hídrico da rizosfera (Rady e Mohamed, 2015), o que implica no fechamento estomático, um dos sintomas mais nítidos em plantas submetidas a estresse salino (Roy et al., 2014); com menor movimento estomático, a assimilação de  $\text{CO}_2$  atmosférico é reduzida, prejudicando o ganho de massa da parte aérea de plantas. Entretanto, o tratamento de sementes com Si permitiu o desenvolvimento normal das plântulas mesmo sob o estresse salino mais grave

estudado. A contribuição do Si na produção de massa seca da parte aérea de plantas sob estresse salino também já foi verificada em outras culturas, como o milho e o feijão-caupi (Lima et al., 2011).

Observou-se que a altura de plântulas de amendoim na ausência de Si não é afetada até a concentração salina de 30  $\mu\text{M}$  (Tabela 4); todavia, a concentração de 60  $\mu\text{M}$  apresentou efeito deletério, inibindo completamente o crescimento da parte aérea. Os resultados assemelham-se aos obtidos por Aquino et al. (2013), avaliando os efeitos do estresse salino na cultura do amendoim em solução nutritiva. Entretanto, o crescimento das plântulas pôde ser retomado na presença de Si em tratamento de sementes, quando comparados aos tratamentos não expostos à salinidade. Uma possível explicação para o fenômeno pode ser a ativação de enzimas relacionadas ao estresse oxidativo. Tunes et al. (2014) observaram maior atividade da enzima peroxidase (POD EC 1.11.1) na parte aérea de plântulas de arroz oriundas de sementes tratadas com Si. A peroxidase é uma enzima que atua degradando o excesso de peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), uma espécie reativa de oxigênio formada em altas quantidades em situações de estresse salino (Flores et al., 2014). Altas concentrações de  $\text{H}_2\text{O}_2$  contribuem para senescência precoce e morte de folhas, inibindo o crescimento vegetal mesmo nos estádios iniciais de seu desenvolvimento (Mukherjee e Choudhuri, 1983).

## CONCLUSÃO

Desta forma concluiu-se que as plantas jovens de amendoim demonstraram sensibilidade à salinidade e a toxicidade de alumínio, com efeito deletério no crescimento. Sendo que, o Si mostrou efeito atenuador tanto para o estresse com alumínio como para o estresse com NaCl.

## REFERÊNCIAS

AQUINO, E.L., SANTOS, A.R., SOUZA, G.S. & SILVA, P.C.C., 2013. Plantas de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetidas à diferentes doses de alumínio em solução nutritiva. *Enciclopédia Biosfera*, vol. 9, no. 16, pp. 1698-1714.

COUTO, C.A., PEIXOTO, C.P., VIEIRA, E.L., CARVALHO, E.V. & PEIXOTO, V.A.B., 2012. Ação da cinetina, ácido indolbutírico e ácido giberélico na emergência de girassol sob estresse por alumínio. *Comunicata Scientiae*, vol. 3, no. 3, pp. 206-209.

DUARTE, E.A.A., MELO FILHO, P.A. & SANTOS, R.C., 2013. Características agrônomicas e índice de colheita de diferentes genótipos de amendoim submetidos a estresse hídrico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 17, no. 8, pp. 843-847. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000800007>.

FÁVERO, A.P., 2004. *Cruzabilidade entre espécies silvestres de Arachis visando à introgressão de genes de resistência a doenças no amendoim cultivado*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ. 165 p. Tese de Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas. <http://dx.doi.org/10.11606/T.11.2004.tde-21092004-160937>.

FERREIRA, D.F., 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 35, no. 6, pp. 1039-1042. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

FERREIRA, R.P., MOREIRA, A. & RASSINI, J.B., 2006. *Toxidez de alumínio em culturas anuais*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste

FLORES, A.V., BORGES, E.E.L., GUIMARÃES, V.M., GONÇALVES, J.F.C., ATAÍDE, G.M. & BARROS, D.P., 2014. Atividade enzimática durante a germinação de sementes de *Melanoxylon brauna schott* sob diferentes temperaturas. *Cerne*, vol. 20, no. 3, pp. 401-408. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201420031399>.

FREITAS, L.B.; FERNANDES, D.M. & MAIA, S.C.M., 2015. Silício na nutrição mineral e acúmulo de alumínio em plantas de arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 45, no. 4, p.440-448.

FREIRE, R.M.M., NARAIN, N. & MIGUEL, A.M.R.O. & SANTOS, R.C., 2013. Aspectos nutricionais de amendoim e seus derivados. In: R.C. SANTOS, R.M.M. FREIRE, L.M LIMA, orgs. *O agronegócio do amendoim no Brasil*. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, pp. 391-421.

GUARESCHI, R.F., PEREIRA, M.G. & PERIN, A., 2012. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 36, no. 3, pp. 909-920. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000300021>.

GUIMARÃES, C.M., NEVES, P.C.F., STONE, L.F. & ZIMMERMANN, F.J.P., 2006. Resistência de arroz de terras altas ao alumínio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 10, no. 4, pp. 855-860. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000400011>.

HARTER, L.S.H., HARTER, F.S., DEUNER, C., MENEGHELLO, G.E. & VILLELA, F.A., 2014. Salinidade e desempenho fisiológico de sementes e plântulas de morango. *Horticultura Brasileira*, vol. 32, no. 1, pp. 80-85. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362014000100013>.

HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.I., 1950. *The water culture method for growing plants without soils*. Berkeley: California Agricultural Experimental Station. 347 p.

KONRAD, M.L.F., SILVA, J.A.B., FURLANI, P.R. & MACHADO, E.C., 2005. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. *Bragantia*, vol. 64, no. 3, pp. 339-347. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052005000300004>.

LANA, M.C.; STEINER, F.; ZOZ, T.; FEY, R. & FRANDOLOSO, J.F., 2013. Tolerance of physic nut plants to aluminum activity in nutrient solution. *Bioscience Journal*, Uberlândia, vol. 29, no. 3, p.582-589.

LIMA, M.A., CASTRO, V.F., VIDAL, J.B. & ENÉAS-FILHO, J., 2011. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. *Ciência Agrônômica*, vol. 42, no. 2, pp. 398-403. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000200019>.



- MACHADO, P.L.O.A., 1997. *Considerações gerais sobre a toxicidade do alumínio nas plantas*. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 22 p.
- MALAVOLTA, E., 2006. *Manual de nutrição mineral de plantas* (Vol. 1). São Paulo: Agronômica Ceres.
- MARTINS, D. & PITELLI, R.A., 1994. Interferência das plantas daninhas na cultura do amendoim das águas: efeitos de espaçamentos, variedades e períodos de convivência. *Planta Daninha*, vol. 12, no. 2, pp. 87-92. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83581994000200006>.
- MATTIELLO, E.M., PEREIRA, M.G., ZONTA, E., MAURI, J., MATIELLO, J.D., MEIRELES, P.G. & SILVA, I.R., 2008. Produção de matéria seca, crescimento radicular e absorção de cálcio, fósforo e alumínio por *Coffea canephora* e *Coffea arabica* sob influência da atividade de alumínio em solução. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 32, no. 1, pp. 425-434. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100040>.
- MORO, A.L., BROETTO, F. & MORO, E., 2015. Relação hídrica e teor de clorofila em dois cultivares de arroz submetidos à deficiência hídrica e adubação silicatada. *Irriga*, vol. 20, no. 3, pp. 570-586. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2015v20n3p570>.
- MUKHERJEE, S.P. & CHOUDHURI, M.A., 1983. Implications of water stress-induced changes in the levels of endogenous ascorbic acid and hydrogen peroxide in *Vigna* seedlings. *Physiologia Plantarum*, vol. 58, no. 1, pp. 166-170. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-3054.1983.tb04162.x>.
- NEVES, G.Y.S., MARCHIOSI, R., FERRARESE, M.L.L., SIQUEIRA-SOARES, R.C. & FERRARESE-FILHO, O., 2010. Root growth inhibition and lignification induced by salt stress in Soybean. *Journal Agronomy & Crop Science*, vol. 196, no. 1, pp. 467-473. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00432.x>.
- PEREIRA, J.W.L., MELO FILHO, P.A., ALBUQUERQUE, M.B., NOGUEIRA, R.J.M.C. & SANTOS, C.R., 2012. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. *Ciência Agrônômica*, vol. 42, no. 4, pp. 766-773. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902012000400019>.
- PIÑEROS, M.A., MAGALHAES, J.V., ALVES, V.M.C. & KOCHIAN, L.V., 2002. The physiology and biophysics of aluminum tolerance mechanism based on root citrate exudation in maize. *Plant Physiology*, vol. 129, no. 3, pp. 1194-1206. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.002295>. PMID:12114573.
- RADY, M.M. & MOHAMED, G.F., 2015. Modulation of salt stress effects on the growth, physio-chemical attributes and yields of *Phaseolus vulgaris* L. plants by the combined application of salicylic acid and *Moringa oleifera* leaf extract. *Scientia Horticulturae*, vol. 193, no. 1, pp. 105-113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.003>.
- RIBEIRO, M.R., 2010. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: H.R. GHEYI, N.S. DIAS, C.F. LACERDA, orgs. *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. Fortaleza: INCTSal, pp.11-19.
- ROY, S.J., NEGRÃO, S. & TESTER, M., 2014. Salt resistant crop plants. *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 26, no. 1, pp. 115-124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.copbio.2013.12.004>. PMID:24679267.
- SANTOS, R.C., FREIRE, R.M.M., LIMA, M.L., ZAGONEL, G.F. & COSTA, B.G., 2012. Produtividade de grãos e óleo de genótipos de amendoim para o mercado oleoquímico. *Ciência Agrônômica*, vol. 43, no. 1, pp. 72-77. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902012000100009>.
- SOARES, G.F., 2016. *Gesso e Fósforo na sucessão soja/milho safrinha*. Jataí: Universidade Federal de Goiás-Regional Jataí. 90p. Tese de Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal).
- STEINER, F., ZOZ, T., PINto JUNIOR, A.S., CASTAGNARA, D.D. & DRANSKI, J.A.L., 2012. Effects of aluminum on plant growth and nutrient uptake in young physic nut plants. *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 33, no. 5, pp. 1779-1788. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n5p1779>.
- TECCHIO, M.A., PIRES, E.J.P., TERRA, M.M., GRASSI FILHO, H., CORRÊA, J.C. & VIEIRA, C.R.Y.I., 2006. Tolerância de porta-enxertos de videira cultivados, em solução nutritiva, ao alumínio. *Revista Ceres*, vol. 53, no. 306, pp. 243-250.
- TEODORO, P.E., RIBEIRO, L.P., OLIVEIRA, E.P., CORRÊA, C.C.G. & TORRES, F.E., 2015. Acúmulo de massa seca na soja em resposta a aplicação foliar com silício sob condições de déficit hídrico. *Bioscience Journal*, vol. 31, no. 1, pp. 161-170. <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v31n1a2015-22283>.

TUNES, L.V.M., FONSECA, D.A.R., MENEGHELLO, G.E., REIS, B.B., BRASIL, V.D., RUFINO, C.A. & VILELLA, F.A., 2014. Qualidade fisiológica, sanitária e enzimática de sementes de arroz irrigado recobertas com silício. *Revista Ceres*, vol. 61, no. 5, pp. 675-685. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201461050011>.

TUTEJA, N., SINGH, L.P., GILL, S.S., GILL, R. & TUTEJA, R., 2012. Salinity stress: a major constraint in crop production. In: N. TUTEJA, S.S. GILL, A.F. TIBURCIO, R. TUTEJA, orgs. *Improving crop resistance to abiotic stress*. Weinheim: Wiley-VCH, pp.71-96. <http://dx.doi.org/10.1002/9783527632930.ch4>.