

## Silício como mitigador da toxidez de amônio em mudas de mamoeiro

Silicon as attenuator of excess ammonium in papaya seedlings

Gilmara Pereira da Silva<sup>1</sup>  ; Renato de Mello Prado<sup>2</sup>  ; Juliana Jordão Boiago<sup>2\*</sup>  ;  
Hermenegildo Lucas Justino Chiaia<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Roraima - UERR, Campus de Rorainópolis, <sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, <sup>3</sup>Faculdade de Medicina Veterinária de Huambo, Campus de Santo Antônio, \*corresponding author-  
\*gilmaraagronoma@gmail.com

Recebido 17/01/2022

Aceito 18/09/2023

Publicado: 05/12/2023

### Abstract:

The excess of ammonium has a harmful effect on plant development, however the use of silicon can reduce its toxicity. Given the above, the objective was to characterize the symptoms of ammonium toxicity, diagnose its effects on the growth and nutritional status of papaya seedlings, and verify the effect of silicon as a stress reliever. The experiment was carried out in a greenhouse at UNESP – Campus de Jaboticabal-SP, Brazil. The experimental design used was a randomized block design in a 4x2 factorial scheme, with four concentrations of ammonium (7.5, 15, 30 and 60 mmol L<sup>-1</sup>), and in the absence and presence of silicon, with four replications. The silicon source used was monosilicic acid and the ammonium source was ammonium chloride. Visual symptoms of ammonium toxicity, evaluations of plant height, stem diameter, green color index, leaf area, electrolyte leakage, shoot and root dry matter were characterized, and N, Ca, accumulation was also calculated. Mg and K in shoots. The excess of ammonium resulted in visual symptoms of toxicity, namely: reduced growth, leaf necrosis in older leaves, chlorosis and wrinkling in younger leaves. There was an increase in electrolyte leakage and resulted in less nutrient absorption. Silicon acted as a beneficial element in mitigating the physiological stress caused by excess ammonium.

**Keywords:** *Carica papaya* L.; Nutritional disorder; Beneficial element.

### Resumo:

O excesso de amônio tem efeito prejudicial no desenvolvimento vegetal, no entanto o uso do silício pode amenizar sua toxicidade. Diante do exposto, objetivou-se caracterizar os sintomas de toxicidade de amônio, diagnosticar seus efeitos no crescimento e no estado nutricional, de mudas de mamoeiro, e verificar o efeito do silício como atenuador de estresse. O experimento foi realizado em casa de vegetação da UNESP – Câmpus de Jaboticabal-SP, Brasil. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizado em esquema fatorial 4x2, sendo quatro concentrações de amônio (7,5; 15; 30 e 60 mmol L<sup>-1</sup>), e na ausência e presença de silício, com quatro repetições. A fonte de silício utilizada foi o ácido monossilícico e a fonte de amônio foi o cloreto de amônio. Foram caracterizados os sintomas visuais de toxicidade de amônio, avaliações de altura de plantas, diâmetro de caule, índice

de cor verde, área foliar, vazamento de eletrólitos, matéria seca da parte aérea e raízes e também foi calculado o acúmulo de N, Ca, Mg e K na parte aérea. O excesso de amônio resultou em sintomas visuais de toxicidade, sendo eles: redução no crescimento, necrose foliar em folhas mais velhas, clorose e encarquilhamento em folhas mais jovens. Ocorreu aumento do vazamento de eletrólitos e acarretou menor absorção de nutrientes. O silício atuou como elemento benéfico na mitigação do estresse fisiológico causado pelo excesso de amônio.

**Palavras-chave:** *Carica papaya* L; Desordens nutricionais; Elemento benéfico.

## 1. Introdução

A nutrição amoniacal pode se tornar uma situação estressante para uma ampla variedade de espécies vegetais quando o íon está presente em altas concentrações (Coletto et al., 2019). Principalmente no mamoeiro (*Carica papaya* L.) espécie que apresenta exigências nutricionais crescentes e contínuas sendo o nitrogênio (N) um dos macronutrientes mais exigidos pela cultura (Menegazzo et al., 2011).

O amônio em excesso, aumenta o teor de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) e degradação dos cloroplastos (Baohai et al., 2014). Além de afetar a fotossíntese, o amônio em altas concentrações pode resultar no menor acúmulo de K, Ca e Mg (Barreto et al., 2018), no alto custo energético para manter baixo o teor de amônio na célula, e pode resultar no desbalanço hormonal (Esteban et al., 2016), além de potencializar a morte celular (Bittsánszky et al., 2015).

Algumas estratégias podem ser adotadas para minimizar o efeito tóxico do amônio às plantas, podendo ser destacado o uso de elementos benéficos, como o silício (Si). Apesar de o Si não ser considerado um nutriente de plantas (Epstein, 2009), esse elemento pode aumentar a tolerância de plantas a estresses abióticos, como o excesso de N (Santos et al., 2020), por interferir no estado nutricional da planta sob condições de estresse, equilibrando a absorção de nutrientes, transporte e distribuição, o que poderia melhorar o crescimento das plantas e a produção de biomassa (Deus et al., 2019).

Existem indicações do efeito do Si na mitigação da toxicidade de amônio em plantas, tendo relatos em *Solanum lycopersicum* (Barreto et al., 2016); *Brassica oleracea* var. *Botrytis* (Barreto et al., 2017); *Beta vulgaris* L (Viciado et al., 2019) e *Zea mays* L (Oliveira et al., 2020).

Este efeito benéfico do Si em maiores concentrações de amônio pode ser relacionado ao aumento da rigidez dos tecidos e à resistência mecânica das células, tornando as folhas com melhor arquitetura (Lima *et al.*, 2011), além de promover alterações na anatomia das folhas aumentando sua espessura e área foliar (Farshidi et al., 2012) que pode favorecer a produção de matéria seca.

Complementa-se que o efeito benéfico do Si na produção de matéria seca em altas concentrações de amônio podem ser explicado, devido ao Si promover efeitos protetores aos mecanismos fotossintéticos, e no equilíbrio dos nutrientes (Santos et al., 2020), aumentando a atividade antioxidante dos vegetais, diminuindo a peroxidação lipídica das folhas (Jiao-Jing *et al.*, 2009). Estes efeitos contribuem para manter as folhas fotossinteticamente ativas, mitigando, assim, os efeitos danosos da toxicidade de amônio aos vegetais.

Tais fatos apresentados devem ser criteriosamente estudados e trabalhados para aumento do conhecimento e obtenção de novas informações relativas ao tema, uma vez que a literatura apresenta carência de pesquisas relacionadas à toxicidade do amônio em mamoeiro e dos efeitos benéficos do Si como atenuador de tais distúrbios.

Dessa forma, tem-se duas hipóteses: (i) o excesso de amônio diminuiu a absorção de Ca, Mg e K e provoca sintomas de toxicidade e (iii) o Si melhora o crescimento de mudas de mamoeiro sob excesso de amônio.

Portanto, objetivou-se avaliar a absorção de nutrientes, crescimento e caracterizar os sintomas de toxicidade de amônio de mudas de mamoeiro em função da aplicação de concentrações de amônio na presença e ausência de silício.

## 2. Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal-SP, Brasil, localizada a uma altitude de 610 metros, com as coordenadas geográficas (21° 15' 22'' S e 48° 18' 58'' W), cultivado em sistema hidropônico, a partir um experimento, realizado com plantas de mamão cultivar calimosa, grupo comercial formosa.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 4x2, sendo quatro concentrações de amônio (7,5; 15; 30 e 60 mmol L<sup>-1</sup>), e ausência e presença de silício, com quatro repetições. A fonte de silício utilizada foi o ácido monossilícico e a fonte de amônio foi cloreto de amônio. Cada unidade experimental constou de uma muda cultivada em vaso de polipropileno.

Foi utilizada a solução nutritiva proposta por Hoagland & Arnon (1950), com modificação na fonte de ferro de Fe-EDTA para Fe-EDDHMA, sendo que a fonte de N utilizada para compor os tratamentos foi o cloreto de amônio. Foi realizada a semeadura, em tubetes preenchidos com substrato comercial, utilizando 4 sementes por tubete e diariamente umedecida. Aos 15 dias após a emergência (DAE) foi realizado o desbaste das plantas deixando uma planta por tubete, 20 DAE iniciaram a aplicação de solução nutritiva (sem aplicação de amônio) e silício utilizando um volume de 10 mL por tubete.

Aos 30 DAE, as mudas de mamoeiro foram definitivamente transplantadas para vasos de polipropileno com volume de 1,7 dm<sup>3</sup> preenchido com substrato comercial a base de fibra de coco e casca de pinus. A partir deste momento, foram utilizadas 100 mL de solução nutritiva para saturação do substrato e depois seguiu com aplicação de 50 mL de solução aplicadas diariamente, conforme os respectivos tratamentos. Em cada vaso, foi aplicado um volume de 50 mL de solução, até os 21 DAT (dias após o transplante); 100 mL de 21 até 35 DAT e 150 mL de 35 até 60 DAT.

Os vasos tinham na parte inferior um recipiente coletor para retornar a solução nutritiva, evitando perdas da mesma. O recolhimento da solução nutritiva e sua reaplicação no vaso foram realizados sempre no início da manhã. Durante o período experimental, foram realizadas diariamente, as descrições dos sintomas de toxicidade de amônio, e registradas imagens das plantas e datas de cada observação após a aplicação dos tratamentos.

Na ocasião do surgimento de sintomas de toxicidade de amônio nas plantas de mamão, foram anotadas as datas em que os mesmos ocorreram e registrados com fotos, e foram realizadas as seguintes avaliações: i) altura de plantas, medida da base até a última folha completamente formada, com o auxílio de uma régua; ii) diâmetro de caule, utilizando um paquímetro digital; índice de cor verde, por meio de um medidor do um índice de clorofila foliar (CCM-200, Opti-sciences®); iii) área foliar, coletando-se todas as folhas da planta, medida com o aparelho LI-3100 Area Meter®.

iv) vazamento de eletrólitos, as amostras de 200 mg de discos foliares de cada tratamento foram expostas a 20 mL de água desionizada durante uma hora. Em seguida, a condutividade elétrica ( $\mu\text{S m}^{-1}$ ) do extrato (L1) foi determinada em condutivímetro (Analyser, mod. 650, São Paulo, Brasil) e os mesmos segmentos de folhas foram colocados novamente em água fervente, por 2 h. Após alcançada a temperatura ambiente, foi realizado uma leitura (L2) da condutividade elétrica final ( $\mu\text{S m}^{-1}$ ) do extrato. O percentual de danos das membranas foi estabelecido pela seguinte relação: % DM = (L1/L2) x 100 (Dionisio-Sese; Tobita, 1998).

v) matéria seca da parte aérea e raízes, as plantas foram separadas em parte aérea e raiz e foram armazenadas em sacos de papel, e levadas ao laboratório, lavadas com água destilada, para secagem em estufa com circulação forçada de ar em temperatura de 65°C até atingir peso constante.

Após a secagem do material vegetal foi obtida matéria seca da parte aérea e raízes, o material foi moído em moinho tipo Willey, obtendo-se o teor de N, a partir de uma digestão ácido sulfúrico e

determinação dos teores de Ca, Mg e K a partir de uma digestão ácidos nítricos e perclóricos conforme método descrito por Bataglia et al. (1983) e calculado acúmulo destes nutrientes na parte aérea da planta.

Os dados foram verificados quanto à normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e foram submetidos à análise da variância, utilizando-se o teste F a 5 % de probabilidade. Quando significativo às médias da fonte de variação (silício), foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. Para a fonte de variação concentrações de amônio, quando significativo realizou-se a análise de regressão polinomial. Utilizou-se o software SISVAR, versão 5.3 BETA (Ferreira, 2011).

### 3. Resultados e Discussão

Os sintomas visuais de toxicidade do amônio iniciaram aos 14 dias após o início das aplicações de amônio. O primeiro sintoma foi verificado no tamanho das plantas, que variavam em função dos tratamentos (Figura 1a). As folhas mais velhas apresentaram necrose foliar, as folhas mais novas ficaram cloróticas e encarquilhamento (Figura 1 b, c, d), corroborando com Jampeetong et al. (2012) que verificaram clorose nas folhas e redução no crescimento da parte aérea.

A altura, diâmetro, índice de cor verde, vazamento de eletrólitos e matéria seca da raiz apresentaram ajuste linear em relação às concentrações de amônio (Figuras 2a, b, c, e, f). No entanto houve ajuste quadrático para a área foliar e matéria seca da parte aérea (Figuras 2d e g).

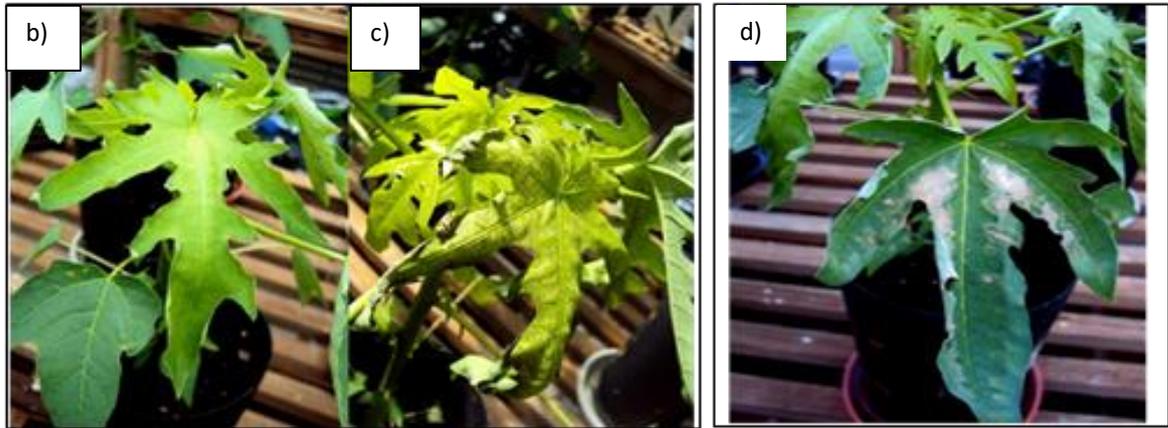
Na presença de Si, houve maior crescimento em altura das mudas de mamoeiro, quando comparada a ausência de Si (Figura 2 a), contudo para o índice da cor verde na ausência de Si houve menores danos em comparação ao tratamento que foi aplicado Si (Figura 2 c). Houve redução no diâmetro da planta e na produção de matéria seca da raiz em função do aumento das concentrações de amônio que foram aumentadas (Figuras 2b e f). Este fato ocorreu devido o excesso de N amoniacal causar toxicidade nas plantas (Figura 1).

Houve maior vazamento de eletrólitos com aumento das concentrações de amônio e na presença de Si ocorreram os menores valores (Figura 2e). De acordo com Jiao-Jing et al. (2009) o Si promove aumento da atividade antioxidante dos vegetais diminuindo a peroxidação lipídica das folhas, conferindo proteção às plantas contra danos oxidativos e refletindo no crescimento e desenvolvimento das mesmas.

**Figure 2.** Visual symptoms of ammonium toxicity that caused reduced growth (a), chlorosis (b), deformation (c) and leaf necrosis (d) in papaya seedlings as a function of ammonium concentrations. Source: Author, 2015.

**Figura 2.** Sintomas visuais de toxicidade de amônio que provocaram redução no crescimento (a), clorose (b), deformação (c) e necrose foliar (d) em mudas de mamoeiro em função das concentrações de amônio. Fonte: Autor, 2015.





**Table 1.** Seedling growth in height (ALT), diameter, green color index (ICV), leaf area, electrolyte leakage (EV) and dry matter of papaya plants as a function of ammonium and silicon concentrations, Jaboticabal-SP, Brazil, 2015.

**Tabela 1.** Crescimento de mudas em altura (ALT), diâmetro, índice da cor verde (ICV), área foliar, vazamento de eletrólitos (VE) e matéria seca de plantas de mamão em função de concentrações de amônio e silício, Jaboticabal-SP, Brasil, 2015.

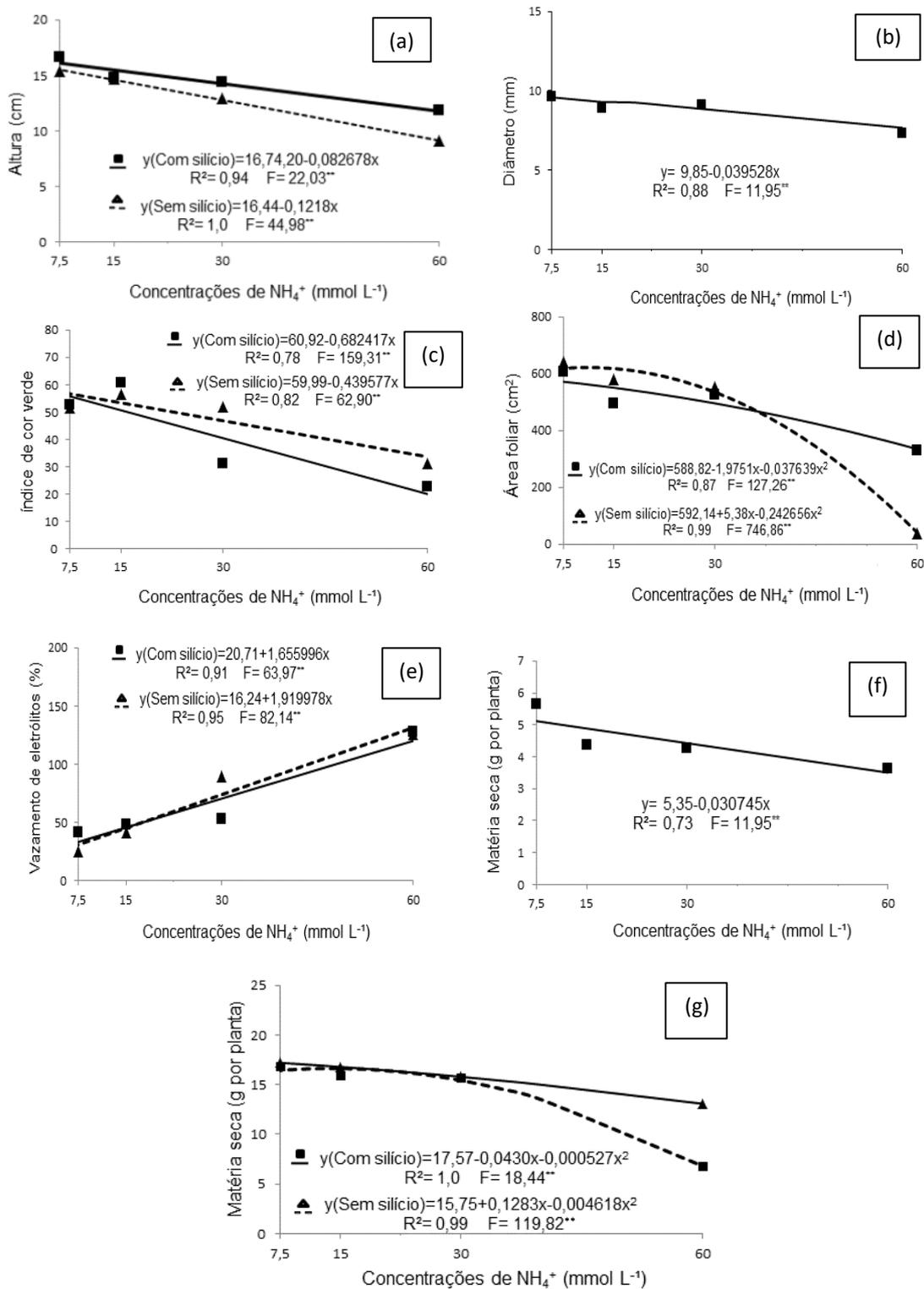
Tratamentos	ALT	Diâmetro	ICV	Área foliar	VE	Matéria seca	
						Parte aérea	Raízes
Silício (S)	cm	mm		cm <sup>2</sup>	%	--- g por planta---	
Com	14,41	8,98	47,63	488,27	67,28	15,73	4,72
Sem	13,02	8,50	41,73	453,33	70,24	13,84	4,24
F (S)	21,87**	2,90 <sup>NS</sup>	34,54**	23,44**	0,69 <sup>NS</sup>	38,43**	3,88 <sup>NS</sup>
Concentrações de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (N) mmol L <sup>-1</sup>							
7,5	16,01	9,63	51,92	622,65	33,48	17,04	5,63
15	14,75	8,88	58,63	536,69	44,28	16,35	4,38
30	13,65	9,08	41,34	539,26	70,85	15,80	4,26
60	10,44	7,34	26,84	184,60	126,44	9,93	3,64
F(N)	63,81**	11,95**	190,62**	729,71**	135,25**	114,81**	11,95**
F (N) X (S)	3,20**	0,08 <sup>NS</sup>	31,59**	144,41**	10,86**	23,45**	1,42 <sup>NS</sup>
CV%	6,2	9,2	6,4	4,3	14,7	5,9	15,3

<sup>NS</sup> não significativo e \*\*, \* significativo a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F. Fonte: Autor, 2015.

<sup>NS</sup> not significant and \*\*, \* significant at 1 and 5 % probability by the F test. Source: Author, 2015.

**Figure 2.** Development of seedlings in height (a), diameter (b), green color index (c), leaf area (d), electrolyte leakage (e), root dry matter (f) and leaf dry matter (g), as a function of ammonium and silicon concentrations, Jaboticabal, SP, Brazil, 2015. Source: Author, 2015.

**Figura 2.** Desenvolvimento de mudas em altura (a), diâmetro (b), índice da cor verde (c), área foliar (d), vazamento de eletrólitos (e), matéria seca de raiz (f) e matéria seca da folha (g), em função das concentrações de amônio e silício, Jaboticabal, SP, Brasil, 2015. Fonte: Autor, 2015.



Houve aumento da área foliar na presença e ausência de Si até a concentração de 26 e 12 mmol L<sup>-1</sup> de amônio atingindo 512 e 622 cm<sup>2</sup> respectivamente, após esse período a aplicação de amônio foi prejudicial (Figura 2d). Este efeito benéfico do Si em maiores concentrações de amônio pode ser relacionado ao aumento da rigidez dos tecidos e à resistência mecânica das células, tornando as folhas com melhor arquitetura (Lima *et al.*, 2011), além de promover alterações na anatomia das folhas aumentando sua espessura e área foliar (Farshidi *et al.*, 2012).

Quanto à matéria seca da parte aérea foi constatado na presença e na ausência de Si aumento até a concentração de 41 e 14 mmol L<sup>-1</sup> de amônio com produção ótima até 15 e 17 g por planta respectivamente, sendo verificado após essas concentrações decréscimos na produção (Figura 2g). A redução na produção de matéria seca com aumento das concentrações de amônio pode ser explicada pela redução da altura ( $r=0,86^{**}$ ), índice de cor verde ( $r=0,75^{**}$ ), menor absorção de Ca ( $r=0,73^{**}$ ) e aumento do vazamento de eletrólitos ( $r=0,63^{**}$ ).

O efeito benéfico do Si na produção de matéria seca em altas concentrações de amônio podem ser explicado, devido ao Si promover efeitos protetores aos mecanismos fotossintéticos, e no equilíbrio dos nutrientes (Mateos-Naranjo; Andrades-Moreno; Davy, 2013), aumentando a atividade antioxidante dos vegetais, diminuindo a peroxidação lipídica das folhas (Jiao-Jing *et al.*, 2009). Estes efeitos contribuem para manter as folhas fotossinteticamente ativas, mitigando, assim, os efeitos danosos da toxicidade de amônio aos vegetais (Campos, 2013).

A interação entre as concentrações de amônio e o silício interferiu apenas no acúmulo de potássio e silício. Os teores de nitrogênio, cálcio e o magnésio variaram em relação às concentrações de amônio e houve maior absorção de cálcio na ausência de silício (Tabela 2). Borgognone *et al.* (2013), relatam influência do N amoniacal, nos teores de Ca e de Mg.

**Table 2.** Nutrient accumulation of papaya plants as a function of ammonium and silicon concentrations, Jaboticabal-SP, Brazil, 2015.

**Tabela 2.** Acúmulo de nutrientes de plantas de mamão em função de concentrações de amônio e silício, Jaboticabal-SP, Brasil, 2015.

Tratamentos	N	Ca	Mg	K	Si
	----- g por planta -----				mg por planta
Silício (S)					
Com	0,57	0,20	0,18	0,56	162,23
Sem	0,55	0,24	0,20	0,59	151,63
F (S)	1,28 <sup>NS</sup>	15,79 <sup>**</sup>	3,64 <sup>NS</sup>	4,11 <sup>NS</sup>	10,67 <sup>**</sup>
Concentrações de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (N)					
mmol L <sup>-1</sup>					
7,5	0,46	0,25	0,23	0,68	176,96
15	0,55	0,23	0,20	0,60	170,29
30	0,58	0,21	0,19	0,57	146,83
60	0,65	0,18	0,15	0,46	133,64
F(N)	15,60 <sup>**</sup>	12,24 <sup>**</sup>	18,61 <sup>**</sup>	25,84 <sup>**</sup>	38,70 <sup>**</sup>
F (N) X (S)	1,30 <sup>NS</sup>	0,71 <sup>NS</sup>	1,41 <sup>NS</sup>	3,44 <sup>*</sup>	4,81 <sup>**</sup>
CV%	10,0	12,7	10,6	8,9	5,9

<sup>NS</sup> não significativo e <sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup> significativo a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F. Fonte: Autor, 2015.

<sup>NS</sup> not significant and <sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup> significant at 1 and 5 % probability by the F test. Source: Author, 2015.

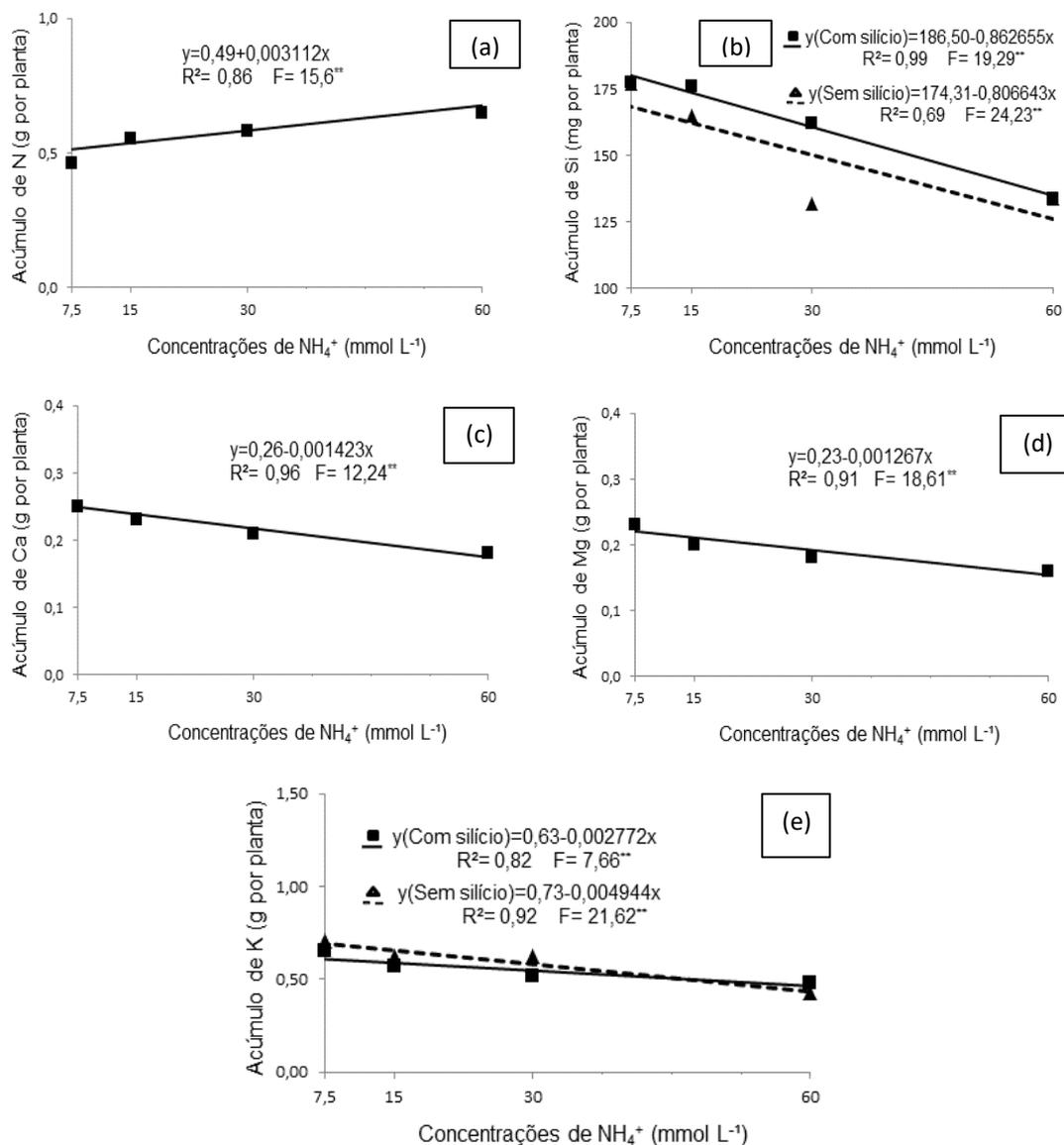
O acúmulo de N, Si, cálcio, Mg e K apresentou ajuste linear em função dos tratamentos aplicados (figura 3). Verificou-se que houve incremento na absorção de N em função de aumento das concentrações de amônio (Figura 3a), resultado esse já esperado.

Em relação ao acúmulo de Si a absorção foi maior quando aplicado o elemento, contudo o acúmulo do K na planta foi maior sem aplicação de Si na dose de 30 mmol L<sup>-1</sup> de amônio (Figuras

3b, e). Em relação ao acúmulo de Si Campos (2013) também constatou que na ausência do elemento benéfico, as plantas apresentaram menores acúmulos de Si na parte aérea.

**Figure 3.** Nutrient accumulation in papaya seedlings N (a), Si (b), Ca (c), Mg (d) and K (e) as a function of ammonium and silicon concentrations, Jaboticabal-SP, Brazil, 2015. Source: Author, 2015.

**Figura 3.** Acúmulo de nutrientes em mudas de mamoeiro N (a), Si (b), Ca (c), Mg (d) e K (e) em função das concentrações de amônio e silício, Jaboticabal-SP, Brasil, 2015. Fonte: Autor, 2015.



Quanto ao acúmulo de Ca e Mg, ocorreu menor absorção dos nutrientes com aumento das concentrações de amônio (Figuras 3c e d), fato esse que pode ser explicado pelo excesso de amônio em plantas ocasionar desequilíbrio entre os nutrientes, induzindo a deficiência de cálcio e de magnésio (Roosta & Schjoerring, 2007), com consequências danosas a produção de matéria seca.

#### 4. Conclusão

O excesso de amônio resultou em sintomas visuais de toxicidade, sendo eles: redução no crescimento, necrose foliar em folhas mais velhas, clorose e encarquilhamento em folhas mais jovens.

Ocorreu aumento do vazamento de eletrólitos e acarretou menor absorção de nutrientes.

O silício mitigou o estresse fisiológico causado pelo excesso de amônio.

## Referências

- BAOHAI, L.; GUANGJIE, L.; KRONZUCKER, H. J.; BALUŠKA, F.; SHI, W. Ammonium stress in *Arabidopsis*: signaling, genetic loci, and physiological targets. **Trends in Plant Science**, v. 19, p.107-114, 2014.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1983, 48p. (Boletim Técnico, 78).
- BARRETO, R. F.; CRUZ, F. J. R.; GAION, L. A.; PRADO, R. M.; CARVALHO, R. F. Accompanying ions of ammonium sources and nitrate : ammonium ratios in tomato plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 181, p.382-387, 2018.
- BARRETO, R. F.; PRADO, R. M.; LEAL, A. J. F.; TROLEIS, M. J. B.; SILVA JUNIOR, G. B.; MONTEIRO, C. C.; SANTOS, L. C. N.; CARVALHO, R. F. Mitigation of ammonium toxicity by silicon in tomato depends on the ammonium concentration. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science**, v. 66, p.483-488, 2016.
- BARRETO, R. F.; SCHIAVON JÚNIOR, A. A.; MAGGIO, M. A.; PRADO, R. M. Silicon alleviates ammonium toxicity in cauliflower and in broccoli. **Scientia Horticulturae**, v. 225, p. 743-750, 2017.
- BITTSÁNSZKY, A.; PILINSZKY, K.; GYULAIB, G.; KOMIVES, T. Overcoming ammonium toxicity. **Plant Science**, v.231, p.184-190, 2015.
- BORGOGNONE, D.; COLLA, G.; ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; REA, E.; SCHWARZ, D. Effect of nitrogen form and nutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes. **Scientia Horticulturae**. v.49, n.1, p.61–69, 2013.
- BYBORDI, A. Influence of  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  ratios and silicon on growth, nitrate reductase activity and fatty acid composition of canola under saline conditions. **African Journal of Agricultural Research**. v.5, n.15, p.1984-1992, 2010.
- CAMPOS, C. N. S. **Silício e excesso de amônio e de nitrato em plantas de cana-de-açúcar e de pepino**. 2013. 72 f. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Jaboticabal. 2013.
- COLETO, I.; VEGAS-MAS, I.; GLAUSER, G.; GONZÁLES-MORO, M. B.; MARINO, D.; ARIZ, I. New Insight on *Arabidopsis thaliana* Root Adaption to Ammonium Nutrition by the Use of a Quantitative Proteomic Approach. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 20, p. 814, 2019.
- DEUS, A. C. F.; PRADO, R. M.; ALVAREZ, R. D. C. F.; OLIVEIRA, R. L. L; FELISBERTO, G. Role of silicon and salicylic acid in the mitigation of nitrogen deficiency stress in rice plants. **Silicon**, v. 1, p. 9, 2019.
- DIONISIO-SESE, M. L.; TOBITA, S. Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. **Plant Science**, v. 135, p.1-9, 1998.
- EPSTEIN, E. Silicon: its manifold roles in plants. **Annals of Applied Biology**, v.155, p. 155–160, 2009.
- ESTEBAN, R.; ARIZ, I.; CRUZ, C. E.; MORAN, J. F. Mechanisms of ammonium toxicity and the quest for tolerance. *Plant Science*, v. 248, p. 92-101, 2016.
- FARSHIDI, M.; ABDOLZADEH, A.; SADEGHIPOUR, H. R. Silicon nutrition alleviates physiological disorders imposed by salinity in hydroponically grown canola (*Brassica napus* L.) plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.34, n.5, p. 1779–1788, 2012.

- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p.1039-1042, 2011.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soil. Berkeley: **California Agricultural Experimental Station**, 1950, 347p.
- JAMPEETONG, A.; BRIX, H.; KANTAWANICHKUL, S. Response of *Salvinia cucullata* to high  $\text{NH}_4^+$  concentrations at laboratory scales. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 79, p.69–74, 2012.
- JIAO-JING, L.; SHAO-HANG, L.; PEI-LEI, X.; XIU-JUAN, W.; JI-GANG, B. Effects of exogenous silicon on the activities of antioxidant enzymes and lipid peroxidation in chilling-stressed cucumber leaves. **Agricultural Sciences in China**, v. 8, n. 9, p. 1075-1086, 2009.
- LIMA, M. A.; CASTRO, V. F.; VIDAL, J. B.; ENÉAS-FILHO, J. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.2, p.398-403, 2011.
- MATEOS-NARANJO, E.; ANDRADES-MORENO, L.; DAVY, A. J. Silicon alleviates deleterious effects of high salinity on the halophytic grass *Spartina densiflora*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.63, p.115-121, 2013.
- MENEGASSO, M. L.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, E. A. Adubação nitrogenada na produção de mudas de mamoeiro. **Agrarian**, v. 4, p.189-196, 2011.
- OLIVEIRA, K. S.; PRADO, R. M.; FARIAS GUEDES, V. H. Leaf Spraying of Manganese with Silicon Addition Is Agronomically Viable for Corn and Sorghum Plants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 13, p.1-9, 2020.
- ROOSTA, H. R.; SCHJOERRING, J. K. Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 30, n. 11, p. 1933-1951, 2007.
- SANTOS, L. C. N.; BARRETO, R. F.; PRADO, R. M.; SILVA, G. P.; Santos, J. M. R.; LASA, B.; ... & CARVALHO, R. F. The auxin-resistant dgt tomato mutant grows less than the wild type but is less sensitive to ammonium toxicity and nitrogen deficiency. **Journal of Plant Physiology**, v. 252, p. 153243, 2020.
- VICIEDO, D. O.; PRADO, R. M.; TOLEDO, R. L.; SANTOS, L. C. N., HURTADO, A. C.; NEDD, L. L. T.; GONZALEZ, L. C. Silicon supplementation alleviates ammonium toxicity in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, p. 413-419, 2019.

---

**Author contribution:**

Gilmara Pereira da Silva: realização do experimento, administração do projeto, escrita – primeira redação e escrita, supervisão, validação.

Renato de Mello Prado: escrita – primeira redação e escrita, revisão e edição.

Juliana Jordão Boiago: análises laboratoriais, escrita, validação.

Hermenegildo Lucas Justino Chiaia: escrita, revisão e edição.

**Financing source:**

Não houve fonte de financiamento.

**Associate Editor**

Saly Takeshita Yamaguti

---

ORIGINAL ARTICLE

