

# SILÍCIO: UM ELEMENTO BENÉFICO E IMPORTANTE PARA AS PLANTAS

Fabrizio de Ávila Rodrigues<sup>1</sup>  
Lilian Aparecida de Oliveira<sup>2</sup>

Ana Paula Korndörfer<sup>3</sup>  
Gaspar Henrique Korndörfer<sup>4</sup>

## INTRODUÇÃO

O silício (Si) tem sido utilizado na forma de fertilizante em vários países, como Brasil, Japão, Ilhas Maurícius, Estados Unidos (EUA) e, atualmente, também na Austrália e na África do Sul. O Japão utiliza o Si no cultivo de arroz há seis décadas. Os EUA já incorporaram a adubação com Si nas culturas de arroz e cana-de-açúcar, utilizando, principalmente, o silicato de cálcio e magnésio, um subproduto da indústria siderúrgica e da produção de fósforo elementar. Na Flórida, por exemplo, mais de 150.000 toneladas de silicato de cálcio são anualmente utilizadas nas culturas de arroz e cana-de-açúcar.

No Brasil, o Si foi recentemente incluído na Legislação para Produção e Comercialização de Fertilizantes e Corretivos como micronutriente benéfico para as plantas e, portanto, pode ser comercializado isoladamente ou em mistura com outros nutrientes.

O uso de Si na adubação tem mostrado inúmeros benefícios para as plantas, incluindo aumentos na produtividade e na resistência contra pragas e doenças e redução dos efeitos do excesso de metais potencialmente tóxicos, do estresse salino e da deficiência hídrica, dentre outros.

O Si é absorvido pelas raízes das plantas na forma neutra, como ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ), por processo passivo ou ativo, através de transportadores de membrana específicos para este fim. O transporte do ácido monossilícico é feito via xilema, e pode ser regulado pela transpiração ou por processo ativo.

O ácido monossilícico, depois de absorvido pelas plantas, é depositado principalmente nas paredes das células da epiderme, contribuindo substancialmente para fortalecer a estrutura da planta e aumentar a resistência ao acamamento e ao ataque de pragas e doenças, além de diminuir a transpiração.

A acumulação de Si em plantas como a cana-de-açúcar pode resultar em aumento da produtividade provavelmente devido à redução da transpiração e à melhora na estrutura da planta, como mostra o trabalho de Silveira Junior et al. (2003), quando compara o efeito do silicato de cálcio ao do calcário (Figura 1).

## SILÍCIO E O ESTRESSE ABIÓTICO

Os efeitos positivos do Si em plantas acumuladoras, sujeitas a estresses de natureza abiótica, têm sido relativamente bem estudados (DATNOFF et al., 2001). Os ânions silicatos

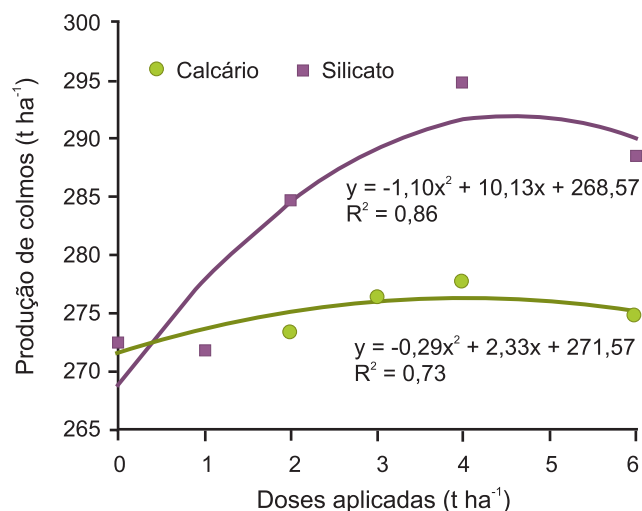


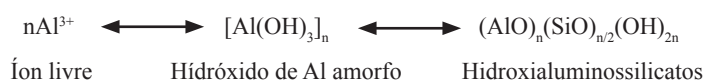
Figura 1. Produção de colmos (cana-planta + cana soca) em função da aplicação de silicato de cálcio e calcário (carbonato de cálcio).

aumentam o pH do solo, podendo fazer com que a atividade dos elementos tóxicos seja diminuída, precipitando-os em compostos insolúveis ou formando polímeros de baixa disponibilidade para as plantas.

A toxicidade de alumínio em plantas é um problema para a agricultura em solos ácidos. Alguns trabalhos demonstraram que, sob determinadas condições, a adição de Si minimiza a toxicidade do alumínio. A aplicação de silicatos, por exemplo, pode aumentar a resistência das plantas ao excesso de alumínio (WIESE et al., 2007).

O efeito do Si na diminuição da toxidez de elementos potencialmente tóxicos, como o Al, pode ocorrer dentro da planta por estímulo do sistema de antioxidantes, complexação dos íons metálicos, imobilização destes metais durante o crescimento vegetal ou compartimentação em vacúolos, citoplasma (NEUMAM e NIEDEN, 2001) ou na parede celular (LIANG et al., 2007).

Segundo Hodson e Sangster (1999), em pH próximo da neutralidade o alumínio e o silício podem formar hidroxialuminossilicatos (HAS), os quais podem reduzir a toxicidade de alumínio, conforme a equação:



**Abreviações:** Al = alumínio; CC = capacidade de campo; EUA = Estados Unidos da América; HAS = hidroxialuminossilicatos; Si = silício.

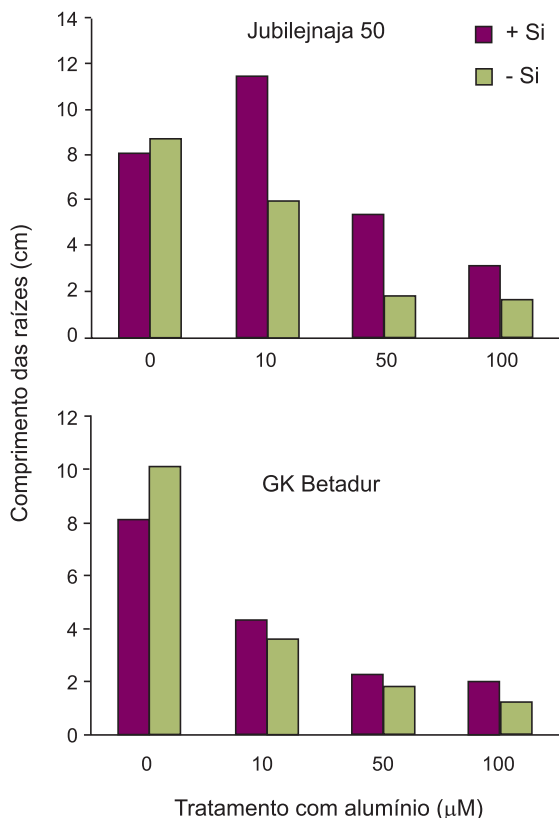
<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Ph.D., Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Viçosa, MG; email: [fabrizio@ufv.br](mailto:fabrizio@ufv.br)

<sup>2</sup> Bióloga, Dra., Departamento de Solos e Nutrição de Plantas. Bolsista do CNPq; email: [oliveira@hotmail.com](mailto:oliveira@hotmail.com)

<sup>3</sup> Bióloga, Dra., Departamento de Entomologia, Bolsista da Fapemig; email: [korndorfer@hotmail.com](mailto:korndorfer@hotmail.com)

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr., Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Uberlândia; email: [ghk@uber.com.br](mailto:ghk@uber.com.br)

Outros trabalhos também mostram que o Si solúvel pode formar compostos inertes com o Al na solução do solo. Zsoldos et al. (2003), trabalhando com a aplicação de Si em plantas de trigo cultivadas em solução nutritiva, verificaram que o efeito tóxico do Al para o crescimento radicular foi diminuído com a adição de silício (Figura 2).



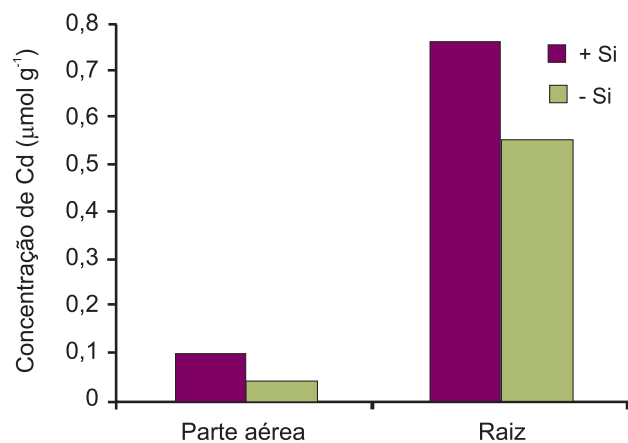
**Figura 2.** Efeito do silício e do alumínio no comprimento das raízes de trigo em variedade resistente ao alumínio (Jubilejnaja 50) e em variedade suscetível (GK Betadur).

Fonte: Zsoldos et al. (2003).

Outros trabalhos dão suporte à hipótese de que a interação Si/Al no tecido vegetal tem um papel significativo na diminuição da toxicidade do Al (HODSON e EVANS, 1995; CORRALES et al., 1997). Há duas situações principais nas quais depósitos de Al/Si foram encontrados (co-deposição): nas raízes, particularmente de gramíneas, e nas espículas de coníferas. Outra forma do Si aumentar a resistência da planta ao Al pode ser pelo estímulo à maior exudação de ácidos orgânicos, como no milho (KIDD e PROCTOR, 2001).

Em plantas de arroz, Shi et al. (2005) demonstraram que as concentrações de cádmio na parte aérea e nas raízes diminuíram na presença de Si (Figura 3). Da mesma forma, Wang et al. (2000) demonstraram que o Si depositado na parede celular das folhas e nas raízes do arroz apresentava extrema afinidade pelo Cd.

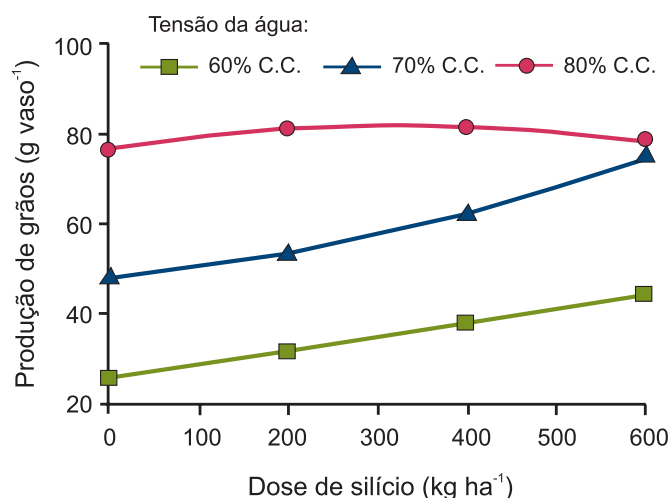
O Si também promove resistência das plantas a condições de estresse salino, porque ajuda a garantir a integridade e a estabilidade da membrana celular (ZUCCARINI, 2008). Em condição de excesso de sal, a integridade da parede celular é garantida pela capacidade do Si de estimular o sistema antioxidante. Em culturas de cevada e algodão, cultivadas em solos com alta salinidade e baixa umidade, a aplicação de Si diminuiu as concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e peroxidação de lipídio, bem como estimulou a atividade das enzimas superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, que garantiram a preservação da parede celular.



**Figura 3.** Efeito da presença (+Si) e da ausência (-Si) de silício na concentração de cádmio (Cd) nas raízes e na parte aérea do arroz. Fonte: Shi et al. (2005).

O Si também pode estar envolvido em atividades metabólicas ou fisiológicas das plantas sob estresse salino e/ou hídrico (GUNES et al., 2008). Em gramíneas, a aplicação de Si levou ao aumento dos níveis de enzimas antioxidantes, aumento da capacidade fotossintética e aumento do conteúdo de clorofila em gramados cultivados sob condições de baixa umidade. A maior concentração de enzimas antioxidantes em plantas tratadas com Si parece criar condições de tolerância a este tipo de estresse (SCHMIDT et al., 1999).

Em arroz, Faria (2000) observou que houve aumento na produção de grãos com a aplicação de silicato de cálcio particularmente quando as plantas foram submetidas a menores quantidades de água disponível no solo. Assim, quanto menor o valor da capacidade de campo (C.C.) do solo, maior foi a resposta das plantas ao silício (Figura 4).



**Figura 4.** Efeito das doses de silicato sobre a produção de grãos de arroz sob diferentes tensões de água no solo (capacidade de campo).

## SILÍCIO E O CONTROLE DE DOENÇAS EM PLANTAS

Vários estudos demonstram que o suprimento de Si, seja via solo, foliar ou solução nutritiva, a várias espécies de plantas mono e dicotiledôneas, tem contribuído de forma significativa na redução da intensidade de inúmeras doenças de importância econômica (BÉLANGER et al., 1995; DATNOFF et al., 1997, 2007) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Efeito do silício na supressão de doenças comuns.

Cultura	Doenças	Patógenos	Referências
Abacate	Antracnose	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Anderson et al. (2005)
Arroz	Bruzone	<i>Magnaporthe grisea</i>	Rodrigues et al. (2004)
		<i>Piricularia oryzae</i>	Volk (1958), Santos et al. (2003)
	Mancha parda	<i>Bipolaris oryzae</i> <i>Helminthosporium oryzae</i>	Zanão Júnior et al. (2009) Hegazi et al. (1993), Datnoff et al. (1991)
Batata	Descoloração de grãos	<i>Bipolaris; Fusarium</i>	Korndörfer et al. (1999), Prabhu et al. (2001)
	Requeima	<i>Phytophthora infestans</i>	Carneiro et al. (2003)
	Pinta preta	<i>Alternaria solani</i>	
Café	Ferrugem	<i>Hemileia vastatrix</i>	Reis et al. (2007)
	Cercospora	<i>Cercospora coffeicola</i>	Pozza et al. (2004)
Cana-de-açúcar	Ferrugem	<i>Puccinia melanocephala</i>	Dean e Todd (1979)
	Mancha anelar	<i>Leptosphaeria sacchari</i>	Raid et al. (1992)
Cevada	Oídio	<i>Erysiphe graminis</i>	Jiang et al. (1989)
Pepino	Oídio	<i>Sphaerotheca fuliginea</i>	Bélanger et al. (1995), Menzies et al. (1991)
Soja	Cercospora	<i>Cercospora sorghi</i>	Nolla et al. (2006)
	Cancro da haste	<i>Diaphorte phaseolorum</i>	Grothge-Lima et al. (1998)
Tomate	Fungos	<i>Sphaerotheca fuliginea</i>	Adatia e Besford (1986)
Trigo	Oídio	<i>Blumeria graminis</i>	Bélanger et al. (2003)
Uva	Oídio	<i>Uncinula necator</i>	Bowen et al. (1992)
	Míldio	<i>Sphaerotheca fuliginea</i>	Reynolds et al. (1996)

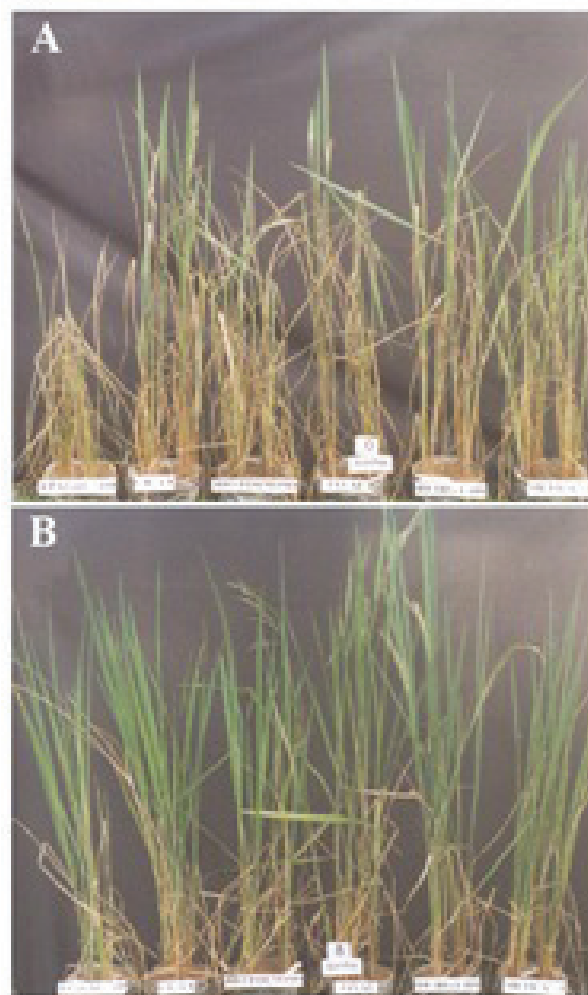
É na cultura do arroz, no entanto, que o Si é mais estudado, e na qual se percebe com maior facilidade a importância deste elemento na redução da intensidade de várias doenças. Datnoff et al. (1991) verificaram diminuição significativa na incidência da brusone em arroz cultivado em solo orgânico, na região dos Everglades, na Flórida, onde foram aplicadas doses de 5, 10 e 15 t ha<sup>-1</sup> de silicato de cálcio.

Estudos conduzidos por Seebold et al. (2004) revelaram que a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de Si foi tão efetiva quanto as doses cheias dos fungicidas edifenfos e tricyclazole no controle da brusone na folha e na panícula de arroz. Além disso, a aplicação do Si associado com 10% a 25% da dose cheia dos fungicidas foi tão eficiente no controle da brusone quanto as doses cheias dos fungicidas. Observou-se, ainda, que o efeito residual do Si no solo foi eficiente no controle da brusone na folha e no “pescoço” da panícula na safra seguinte de arroz.

A aplicação de silicato de cálcio no solo também reduziu a severidade da mancha parda do arroz em 15%, em comparação ao tratamento que não recebeu silício (DATNOFF et al., 1991).

Em estudo conduzido por Rodrigues et al. (2001), utilizando cultivares de arroz com alto nível de resistência parcial (Jasmine e LSBR-5), moderadamente suscetíveis (Drew e Kaybonnet) e suscetíveis (Lemont e Labelle) à queima-das-bainhas, demonstrou-se que o fornecimento de Si às plantas reduziu a severidade da doença. Em trabalho semelhante, Rodrigues et al. (2003b) testaram o comportamento de seis cultivares de arroz (BR-Irga 409, Metica-1, Epagri-109, Rio Formoso, Javaé e Cica-8) na presença de 0, 2, 4, 6 e 8 t ha<sup>-1</sup> de wollastonita (usada como fonte de Si) e verificaram que a mesma reduziu a severidade da queima-das-bainhas, especialmente nas cultivares moderadamente suscetíveis e suscetíveis (Figura 5).

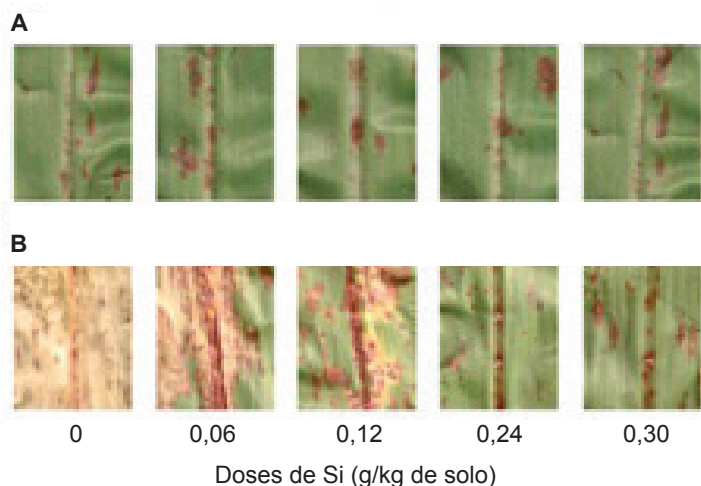
Em outras culturas, o Si também tem apresentado efeito promissor no controle de doenças. Em trigo, por exemplo, o míldio pulverulento (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*) tem sido controlado com a aplicação de silicato no solo (RODGERSGRAY e SHAW, 2000). Plantas de trigo supridas com Si apresentaram redução na



**Figura 5.** Sintomas de queima das bainhas causada por *Rhizoctonia solani* em cinco cultivares de arroz cultivadas na ausência (A) e na presença (B) de silício.

severidade da mancha salpicada (*Mycosphaerella graminicola*) e da podridão do colmo (*Fusarium* spp.) (RODGERS-GRAY e SHAW, 2000). A aplicação de Si também reduziu a incidência da podridão de plântulas de milho causada por *Pythium aphanidermatum* e *Fusarium moniliforme* (SUN et al., 1994).

Resende et al. (2009) estudaram o efeito do Si no comportamento de alguns componentes de resistência de linhagens de sorgo suscetível (BR 009) e resistente (BR 005) à antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum sublineolum*. Cinco doses de Si foram aplicadas ao solo: 0; 0,06; 0,12; 0,24 e 0,30 g kg<sup>-1</sup>, utilizando-se a wollastonita como fonte desse elemento. Observou-se que o teor de Si aumentou nas folhas, com incremento de 55% e 58% em relação ao controle, nas linhagens suscetível e resistente, respectivamente. Para a linhagem suscetível, houve efeito positivo do Si sobre a severidade da doença (Figura 6).



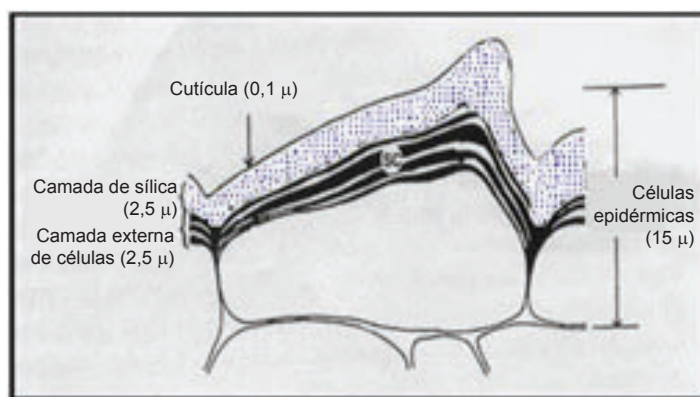
**Figura 6.** Sintomas de antracnose em folhas de plantas de sorgo da linhagem resistente BR 005 (A) e suscetível BR 009 (B), cultivadas em vasos contendo diferentes doses de silício.

Os mecanismos de resistência exibidos por algumas espécies de plantas a certos patógenos mediados pelo Si também tem sido alvo de estudo por vários pesquisadores (DATNOFF et al., 2007). Em arroz particularmente, o aumento na resistência à brusone, considerada um patossistema modelo nos estudos envolvendo Si, foi associado com a densidade de células silicificadas na epiderme (ITO e HAYASHI, 1931).

Por outro lado, a deposição e a polimerização do ácido monossilícico abaixo da cutícula, formando uma camada dupla cutícula-silica (YOSHIDA, 1965), tem sido outra hipótese para explicar o aumento da resistência do arroz à penetração por *Pyricularia grisea* (Figura 7).

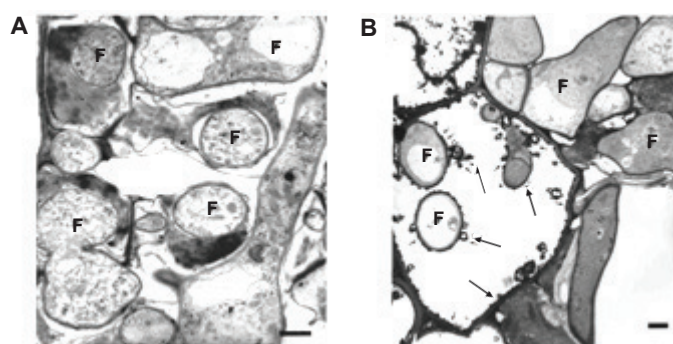
Rodrigues et al. (2003a) apresentaram as primeiras evidências citológicas relacionando o aumento na resistência do arroz à brusone ao acúmulo de compostos fenólicos induzido pelo Si. Observações ultra-estruturais de amostras de folhas coletadas de plantas que não receberam Si revelaram que muitas células da epiderme e do mesófilo estavam desprovidas de organelas funcionais, além de apresentarem a parede celular completamente degradada por enzimas líticas produzidas pelo fungo (Figura 8A). Nas folhas das plantas que receberam Si, as hifas do fungo presentes nas células do mesófilo encontravam-se, em sua maioria, circundadas por uma densa camada de material osmiofilico<sup>1</sup> (Figura 8B).

<sup>1</sup> Refere-se a compostos produzidos pelas plantas, de natureza fenólica, que tem afinidade pelo ósmio usado durante o preparo das amostras para a microscopia eletrônica de transmissão.



**Figura 7.** Deposição e polimerização do ácido monossilícico abaixo da cutícula, formando uma dupla camada cutícula-silica.

Fonte: Yoshida (1965).



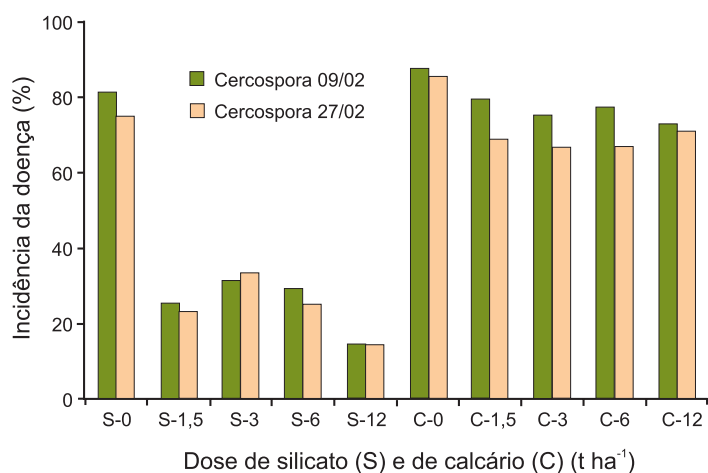
**Figura 8.** Micrografias eletrônicas de transmissão de amostras de folhas de plantas de arroz cultivadas na ausência (A) e na presença (B) de silício. Na presença de silício, nota-se abundante material osmiofilico circundando as estruturas do fungo *Pyricularia grisea* e também a parede celular (setas), 96 h após a inoculação. F = hifas de *P. grisea*. Barras = 2 μm.

Em outro estudo, Rodrigues et al. (2004) observaram que as fitoalexinas momilactonas A e B foram induzidas em maiores quantidades em plantas de arroz supridas com Si e inoculadas com *P. grisea* do que naquelas inoculadas que não receberam Si.

A soja é considerada cultura não acumuladora de Si porque, em geral, apresenta teores foliares inferiores a 5 g kg<sup>-1</sup>. Por esta razão, acredita-se que a hipótese da dupla camada de Si (formação da barreira mecânica) não tenha importância na defesa da planta contra agentes de infecção, e que, no caso do experimento mostrado na Figura 9, o papel do Si na indução da produção de fenóis tenha sido a razão principal para a redução na incidência de *Cercospora*. O silício pode agir como ativador de genes e sinalização na biossíntese de compostos de defesa, em processo denominado de resistência sistêmica adquirida (RSA), que sintetiza compostos como fitoalexinas, fenóis e fenilpropanóides (FAWE et al., 2001).

## SILÍCIO E O CONTROLE DE PRAGAS

Desde 1960, mais de 80 artigos científicos procuram demonstrar o efeito benéfico do silício em várias culturas atacadas por diferentes pragas (Tabela 2). Insetos herbívoros representam apenas um tipo de estresse biótico para o qual o silício pode providenciar certa defesa, com consequente aumento na produção, principalmente em cultivares suscetíveis (LAING e ADANDON, 2005).

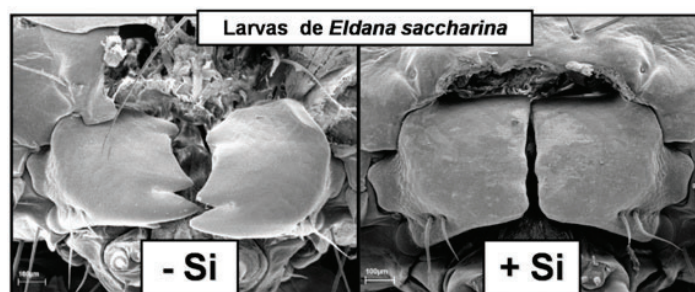


**Figura 9.** Efeito do silicato de cálcio (S) e do calcário (C) sobre a incidência de *Cercospora* em duas diferentes épocas de avaliação, na cultura da soja.

Fonte: Nolla et al. (2006).

A ação do silício sobre os insetos herbívoros pode ser considerada de duas formas: ação direta, como no desgaste da mandíbula de insetos mastigadores (Figura 10), e ação indireta, por meio da atração de inimigos naturais da praga (KVENDARAS e KEEPING, 2007; REYNOLDS et al., 2009).

Os efeitos diretos podem incluir a redução no crescimento e na reprodução do inseto, normalmente associados à redução dos danos para a cultura. Os efeitos indiretos estão normalmente relacionados à diminuição ou atraso na penetração do inseto na planta.



**Figura 10.** Mandíbulas de larvas de *Eldana saccharina*. À esquerda, mandíbula de larva que foi alimentada com plantas não tratadas com silício; à direita, mandíbula de larva que foi alimentada com plantas tratadas com silício.

Crédito das fotos: Olivia Kvedaras.

São inúmeros os trabalhos que demonstram o aumento de resistência em plantas a insetos herbívoros e a outros artrópodes com o uso de Si na adubação (DJAMIN e PATHAK, 1967; MORAES et al., 2004, 2005; KVENDARAS et al. 2007; KVENDARAS e KEEPING, 2007; REYNOLDS et al., 2009). Recentemente, estudo realizado por Reynolds et al. (2009) mostrou que o Si pode melhorar a defesa da planta hospedeira por intermédio do terceiro nível trófico, intensificando a atração de inimigos naturais e o consequente controle biológico pela indução de resistência da planta, provavelmente por diferentes voláteis e/ou pela quantidade de voláteis produzidos pela planta atacada por insetos.

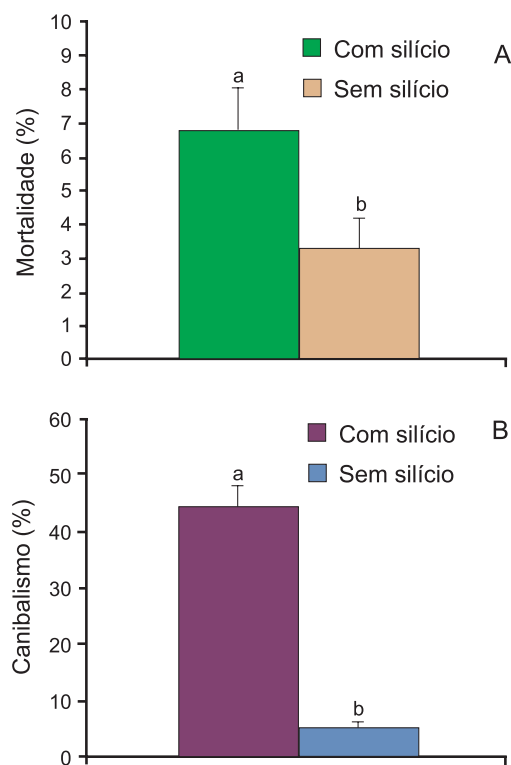
Moraes et al. (2004), estudando a influência do Si em plantas de trigo sobre o pulgão-verde, verificaram que a aplicação de silicato de sódio via solo e via foliar reduziu a preferência e a

**Tabela 2.** Culturas que demonstraram efeito benéfico do silício no controle de diferentes pragas.

Cultura	Inseto	Autor
Trigo	<i>Oulema melanopus</i>	Guslits (1990)
Cereais	<i>Coptotermes spp.</i>	Knauf et al. (1990), Schubert et al. (1990), Roomi (1990), Adams et al. (1995)
Citros	-	Matichenkov et al. (2000)
Milho	<i>Spodoptera frugiperda</i>	Goussain et al. (2002)
Arroz	<i>Chillo suppressalis</i>	Sasamoto (1961)
	<i>Scirpophaga incertulas</i>	Panda et al. (1975)
	<i>Tryporyza incertulas</i>	Subbarao e Perraju (1976)
	<i>Nilaparvata lugens</i>	Yoshihara e Sogawa (1979)
	<i>Chilo zacconius</i>	Ukwungwu e Odebiyi (1985)
	<i>Scirpophaga incertulas</i>	Mishra et al. (1990)
Soja	Whitebacked Broca do colmo	Salim e Saxena (1992)
	<i>Schizaphis graminum</i>	Meiqing (2005)
	<i>Schizaphis graminum</i>	Carvalho et al. (1998)
	<i>Chilo infuscatelus</i>	Rao (1967)
	Broca do colmo	Pan et al. (1979)
	<i>Diatraea saccharalis</i>	Elawad et al. (1982)
Cana-de-açúcar	<i>Diatraea saccharalis</i>	Anderson e Sosa (2001)
	<i>Eldana saccharina</i>	Keeping e Meyer (2003), Meyer e Keeping (2005)
	<i>Mahanarva fimbriolata</i>	Korndörfer (2010)
	<i>Herpetogramma</i>	Korndörfer et al. (2004)
Gramma	-	Chelliah (1972)
Trigo	<i>Schizaphis graminum</i>	Basagli et al. (2003)
	<i>Schizaphis graminum</i>	Moraes et al. (2004)
	<i>Sitophilus granarius</i>	Kordan et al. (2005)

reprodução do pulgão em relação ao tratamento controle. Goussain et al. (2005) também verificaram redução desta praga em plantas de trigo tratadas com Si.

Goussain et al. (2002) observaram maior mortalidade e aumento de canibalismo em grupos de lagartas de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) quando estas foram alimentadas com folhas de plantas de milho tratadas com Si. Constatou-se neste mesmo trabalho um acentuado desgaste das mandíbulas das lagartas nos seis instares, quando estas se alimentaram de folhas apresentando maior concentração de Si. Foi sugerido que a aplicação de Si pode dificultar a alimentação de lagartas, causando aumento de mortalidade e de canibalismo, tornando, portanto, as plantas de milho mais resistentes a essa praga (Figura 10).



**Figura 10.** Porcentagem de mortalidade (A) e canibalismo (B) de lagartas de *S.frugiperda* alimentadas com folhas de plantas de milho, com ou sem adição de silício, ao final do 2º instar.

Korndörfer (2006) verificou que o acúmulo de Si em plantas de *Davilla elliptica* (Dilleniaceae) St. Hil resultou em folhas mais duras e com maior número de tricomas (apêndices epidérmicos altamente variados em estrutura e função), refletindo na redução da herbivoria por parte de insetos (Tabela 3).

**Tabela 3.** Número de tricomas e dureza foliar encontradas nas folhas de *Davilla elliptica* tratadas e não tratadas com silicato de cálcio e magnésio.

Silício	Número de tricomas	Dureza foliar
		(kgf)
Sem Si	124 a	209 a
Com Si	171 b	224 b

**Fonte:** Korndörfer (2006).

Por ser considerada uma cultura acumuladora de Si, a cana-de-açúcar vem apresentando resultados muito interessantes com relação ao controle de algumas pragas (cigarrinha e broca). Estudos recentes mostram que a aplicação de Si aumentou a resistência da

cana-de-açúcar à broca (*E. saccharina*), um dos principais fatores de redução de produtividade da indústria de açúcar na África do Sul (MEYER e KEEPING, 2005).

Estudos recentes realizado por Korndörfer (2010) demonstraram que o Si aplicado no solo interfere no desenvolvimento da cigarrinha-das-raízes (*Mahanarva fimbriolata*), uma das principais pragas da cana-de-açúcar no Brasil. O Si aumentou a mortalidade das ninfas e diminuiu a longevidade dos machos e das fêmeas (Tabela 4) em laboratório, e em condições de campo diminuiu a população de ninfas, melhorando a qualidade da matéria-prima.

**Tabela 4.** Efeito do silício, aplicado via solo, no teor foliar de diferentes variedades de cana e na longevidade e oviposição da cigarrinha-das-raízes.

Variedade de cana	Teor foliar de Si (%)	Longevidade		Oviposição (nº de ovos)
		Machos	Fêmeas	
		----- (dias) -----		
SP81-3250	1,56 a	15 a	18 a	495 a
SP80-1816	1,60 b	13 a	15 a	369 b
SP79-1011	2,31 c	11 b	11 b	242 c

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Portanto, o uso de silicato, além contribuir para o fornecimento de nutrientes (Ca, Mg e Si) e para a correção da acidez do solo, pode se constituir em parte importante do manejo integrado de pragas, especialmente por intermédio da indução de resistência às plantas.

## LITERATURA CITADA

- ADAMS, A. J.; JERMANNAUD, A.; SERMENT, M. M. **Novel chemistry and versatility for termite control.** International Research Group on Wood Preservation, No. 95-30069, 1995. 15 p.
- ADATIA, M. H.; BESFORD, A. T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. **Annals of Botany**, v. 58, p. 343-351, 1986.
- ANDERSON, D. L.; SOSA, O. Jr. Effect of silicon on expression of resistance to sugarcane borer (*Diatraea saccharalis*). **Journal of the American Society for Sugar Cane Technologists**, v. 21, p. 43-50, 2001.
- BASAGLI, M. A. B.; MORAES, J. C.; CARVALHO, G. A.; CARVALHO, C. E.; GONÇALVES-GERVÁSIO, R. D. C. R. Efeito da aplicação de silicato de sódio na resistência de plantas de trigo ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rond., 1852) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, v. 32, n. 4, p. 659-663, 2003.
- BÉLANGER, R. R.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G. Cytological evidence of an active role of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. tritici). **Phytopathology**, v. 93, p. 402-412, 2003.
- BÉLANGER, R. R.; BOWEN, P. A.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. Soluble silicon: its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, v. 79, p. 329-336, 1995.
- BOWEN, P.; MENZIES, J.; EHRET, D.; SAMUEIS, L.; GLASS, A. D. M. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal of the American Horticultural Science**, v. 117, p. 906-912, 1992.
- CARNEIRO, L. M. S.; JULIATTI, F. C.; RAMOS, H. F.; KORNDÖRFER, G. H.; OLIVEIRA, R. G.; AMADO, D. F.; LUZ, J. M. Q.; NOLLA, A. 2003. Programa de controle da queimada (*Phytophthora infestans*) na cultura da batata em função da aplicação de argila silicatada. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 2, 2003, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2003. 1 CD-ROM.
- CARVALHO, S. P. **Efeito do silício na indução de resistência do sorgo ao pulgão verde Schizaphis graminum (Rond.) (Homoptera: Aphidae).** 1998. 43f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1998.
- CHELLIAH, S. **Some investigations in muskmelons Cucumis melo L. on resistance to the fruit fly, Dacus cucurbitae Coquillett (Diptera: Tephritidae).** Ph.D. thesis, Annamalaiunagar University, Tamil Nadu, India, 1972.
- CORRALES, I.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELÓ, J. Influence of silicon pretreatment on aluminum toxicity in maize roots. **Plant and Soil**, v. 190, p. 203-209, 1997.
- DATNOFF, L.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, v. 16, p. 525-531, 1997.
- DATNOFF, L. E.; RODRIGUES, F. A.; SEEBOLD, K. W. Silicon and plant disease. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. (Org). **Mineral nutrition and plant disease.** St Paul: The American Phytopathological Society Press, 2007. p. 233-246.
- DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture.** Amsterdam: Elsevier, 2001. 403 p.
- DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; RAID, R. N.; JONES, D. B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. **Plant Disease**, v. 75, p. 729-732, 1991.
- DEAN, J. L.; TODD, E. H. Sugarcane rust in Florida. **Sugar Journal**, v. 42, p. 10, 1979.
- DJAMIN, A.; PATHAK, M. D. Role of silica in resistance to Asiatic rice borer, *Chi1o suppressalis* Walker, in rice varieties. **Journal of Economic Entomology**, v. 60, p. 347-351, 1967.
- ELAWAD, S. H.; GASCHO, G. J.; STREET, J. J. Response of sugarcane to silicate source and rate. 1: Growth and yield. **Agronomy Journal**, v. 74, p. 481-484, 1982.

- FARIA, R. Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo. 2000. 65f. Dissertação (Mestrado)–Universidade Federal de Lavras, UF/LA, Lavras, MG, 2000.
- FAWE, A.; MENZIES, J. G.; CHÉRIFF, M.; BÉLANGER, R. R. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Eds.). *Silicon in agriculture*. New York: Elsevier Science, 2001. p. 159-169.
- GOUSSAIN, M. M.; PRADO, E.; MORAES, J. C. Effect of silicon applied to wheat plants on the biology and probing behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, v. 34, n. 5, p. 807-813, 2005.
- GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSI, M. L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, v. 31, p. 305-310, 2002.
- GROTHGE-LIMA, M. T. *Interrelação cancro da haste (Diaporthe phaseolorum f. sp. meridionalis), nodulação (Bradyrhizobium japonicum) e silício em soja [Glycine max (L.) Merrill]*. 1998. 58f. Tese (Doutorado)–Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1998.
- GUNES, A.; PILBEAM, D. J.; INAL, A.; COBAN, S. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, in growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, v. 39, n. 13-14, p. 1885-1903, 2008.
- GUSLITS, I. S. Factors in the resistance of cereal crops to *Oulema melanopus* and their role in reducing pest numbers. In: Problemy seleksii zernovykh kul'tur na ustoychivost' k boleznyam i neblagopriyatnym usloviyam sredy, Saratov, 1990. p. 17-18.
- HEGAZI, M. F.; HARFOUSH D. I.; MOSTAFA M. H.; IBRAHIM I. K. Changes in some metabolites and oxidative enzymes associated with brown leaf spot of rice. *Annals of Agricultural Science*, v. 38, n. 1, p. 291-299, 1993.
- HODSON, M. J.; EVANS, D. E. Aluminium/silicon interactions in higher plants. *Journal of Experimental Botany*, v. 46, n. 2, p. 161-171, 1995.
- HODSON, M. J.; SANGSTER, A. G. Aluminium/silicon interactions in conifers. *Journal of Inorganic Biochemistry*, v. 76, p. 89-98, 1999.
- ITO, S.; HAYASHI, H. On the relation of silica supply to rice blast. *Journal of Sapporo Society for Agricultural Science*, v. 103, p. 460-461, 1931.
- JIANG, D.; ZEYEN, R. J.; RUSSO, V. Silicon enhances resistance of barley to powder mildew (*Erysiphe graminis f. sp. hordei*). *Phytopathology*, v. 79, p. 1198, 1989.
- KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Effect of four sources of silicon on resistance of sugarcane varieties to *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). *Proceeding of the South African Sugar Technologists' Association*, v. 77, p. 99-103, 2003.
- KIDD, P.; PROCTOR, J. The growth response of ecotypes of *Holcus lanatus* L. from different soil types in northwestern Europe to aluminium and silicon. *Fresenius Environmental Bulletin*, v. 10, p. 590-594, 2001.
- KNAUF, W.; KERN, M.; SCHAUB, R.; WALTERSDORFER, A. Biological properties of the silaneophane HOE 084498 - a new insecticide for the control of rice pests. In: *Pest management in rice*. London, UK: Society of Chemical Industry, 1990. p. 203-209.
- KORDAN, B.; TEODORCZYK, J.; NIETUPSKI, M.; CIEPIELEWSKA, D. Can sulphur compounds have an effect on the numbers of offspring beetles of *Sitophilus granarius* L.? *Journal of Elementology*, v. 10, p. 51-55, 2005.
- KORNDÖRFER, A. P. *A importância do silício nas relações entre herbívoros e Davilla elliptica (Dilleniaceae) St. Hill no cerrado*. 2006. 31f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais)–Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2006.
- KORNDÖRFER, A. P. *Efeito do silício na indução de resistência à cigarrinha-das-raízes Mahanarva fimbriolata Stål (Hemiptera: Cercopidae) em cultivares de cana-de-açúcar*. 2010. 101f. Tese (Doutorado em Entomologia Agrícola)–Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba, SP, 2010.
- KORNDÖRFER, A. P.; CHERRY, R.; NAGATA, R. Effect of calcium silicate on feeding and development of tropical sod webworms (Lepidoptera: Pyralidae). *Florida Entomologist*, v. 87, p. 393-395, 2004.
- KORNDÖRFER, G. H.; ARANTES V. A.; CORRÊA G. F.; SNYDER, G. H. Efeito da aplicação de silicato de cálcio em solos cultivados com arroz de sequeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 3, p. 623-629, 1999.
- KVEDARAS, O. L.; KEEPING, M. G. Silicon impedes stalk penetration by the borer *Eldana saccharina* in sugarcane. *Entomologia Experimental et Applicata*, v. 125, p. 103-110, 2007.
- KVEDARAS, O. L.; KEEPING, M. G.; GOEBEL, F.-R.; BYRNE, M. J. Larval performance of the pyralid borer *Eldana saccharina* Walker and stalk damage in sugarcane: influence of plant silicon, cultivar and feeding site. *International Journal of Pest Management*, v. 53, p. 183-194, 2007.
- LAING, M. D.; ADANDONON, A. Silicon and insect management: review. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. *Proceedings...* Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2005. p. 41-50.
- LIANG, Y. C.; SUN, W.; ZHU, Y. G.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. *Environmental Pollution*, v. 147, p. 422-428, 2007.
- MATICHENKOV, V. V.; CALVERT, D. V.; SNYDER, G. H. Prospective of silicon fertilization for citrus in Florida. *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings*, v. 59, p. 137-141, 2000.
- MEIQING, W. Effect of complete silicon fertilizer on rice yield. *Acta Agriculturae Shanghai*, v. 21, n. 1, p. 71-73, 2005.
- MENZIES, J. G.; EHRET, D. L.; GLASS, A. D. M.; HEHNER, T.; KOCH, C.; SEYWARD, F. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheraecula cucumis* on *Cucumis sativus*. *Phytopathology*, v. 81, p. 84-88, 1991.
- MEYER, J. H.; KEEPING, M. G. Impact of silicon in alleviating biotic stress in sugarcane in South Africa. *Sugar Cane International*, v. 23, p. 14-18, 2005.
- MISHRA, B. K.; SONTAKKE, B. K.; MOHAPATRA, H. Antibiosis mechanisms of resistance in rice varieties to yellow stem borer *Scirpophaga incertulas* Walker. *Indian Journal of Plant Protection*, v. 18, n. 1, p. 81-83, 1990.
- MORAES, J. C.; GOUSSAIN, M. M.; CARVALHO, G. A.; COSTA, R. R. Feeding non-preference of the corn leaf aphid *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) to corn plants (*Zea mays* L.) treated with silicon. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 29, p. 761-766, 2005.
- MORAES, J. C.; GOUSSAIN, M. M.; BASAGLI, M. A. B.; CARVALHO, G. A.; ECOLE, C. C.; SAMPAIO, M. V. Silicon influence on the tritrophic interaction: wheat plants, the Greenbug *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae), and its natural enemies, *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) and *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, v. 33, n. 5, p. 619-624, 2004.
- NEUMAM, D.; NIEDEN, U. Silicon and heavy metal tolerance of higher plants. *Phytochemistry*, v. 56, p. 685-692, 2001.
- NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, L. Efficiency of calcium silicate and carbonate in soybean disease control. *Journal of Plant Nutrition*, v. 29, p. 2049-2061, 2006.
- PAN, Y. C.; KUROSHIO, K.; HOKAMA, Y. The effect of bagasse furnace ash on the growth of plant cane. *Sugar Journal*, v. 42, p. 14-16, 1979.
- PANDA, N.; PRADHAN, B.; SAMALO, A. P.; RAO, P. S. P. Note on the relationship of some biochemical factors with the resistance in rice varieties to yellow rice borer. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, v. 45, p. 499-501, 1975.
- POZZA, A. A. A.; ALVES, E.; POZZA, E. A.; CARVALHO, J. G. de.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, T. G.; SANTOS, D. M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de café. *Fitopatologia Brasileira*, v. 29, p. 185-188, 2004.
- PRABHU, A. S.; BARBOSA FILHO, M. P.; FILIPPI, M. C.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Silicon from rice disease control perspective in Brazil. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Eds.). *Silicon in agriculture*. New York: Elsevier Science, 2001. p. 293-311.
- RAID, R. N.; ANDERSON, D. L.; ULLOA, M. F. Influence of cultivar and amendment of soil with calcium silicate slag on foliar disease development and yield of sugarcane. *Crop Protection*, v. 11, n. 1, p. 84-88, 1992.
- RAO, S. D. V. Hardness of sugarcane varieties in relation to shoot borer infestation. *Andhra Agriculture Journal*, v. 14, p. 99-105, 1967.
- REIS, E. F.; LIMA NETO, V. C.; GODOY, C. V.; ROSA, C. T.; CASTANHO, H. E.; VICENTE, N. G. Controle químico da ferrugem asiática da soja na região sul do Paraná. *Scientia Agraria*, v. 8, p. 319-323, 2007.
- RESENDE, R. S.; RODRIGUES, F. A.; SOARES, J. M.; CASELA, C. R. The influence of silicon on components of resistance to anthracnose in susceptible and resistant sorghum lines. *European Journal of Plant Pathology*, v. 124, p. 533-541, 2009.
- REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. *Annals of Applied Biology*, v. 155, p. 171-186, 2009.
- REYNOLDS, A. G.; VETO, L. J.; SHOLBERG, P. L.; WARDLE, D. A.; HAAG, P. Use of potassium silicate for control of powdery mildew [*Uncinula necator* (Schwein) Burrill] in *Vitis vinifera* L. cultivar bacchus. *American Journal of Enology and Viticulture*, v. 47, n. 4, p. 421-428, 1996.
- RODGERS-GRAY, B. S.; SHAW, M. W. Substantial reductions in winter wheat diseases caused by addition of rice straw but not manure to soil. *Plant Pathology*, v. 49, p. 590-599, 2000.
- RODRIGUES, F. A.; BENHAMOU, N.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; BÉLANGER, R. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. *Phytopathology*, v. 93, p. 535-546, 2003a.
- RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; SEEBOLD, K. W.; RUSH, M. C. Effect of silicon and host resistance on sheath blight development in rice. *Plant Disease*, v. 85, p. 827-832, 2001.
- RODRIGUES, F. A.; VALE, F. X. R.; KORNDÖRFER, G. H.; PRABHU, A. S.; DATNOFF, L. E.; OLIVEIRA, A. M. A.; ZAMBOLIM, L. Influence of silicon on sheath blight of rice in Brazil. *Crop Protection*, v. 22, p. 23-29, 2003b.
- RODRIGUES, F. A.; McNALLY, D. J.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; LABBÉ, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. *Phytopathology*, v. 94, p. 177-183, 2004.
- ROOMI, M. W. Studies on the control of subterranean termites by inorganic pesticides. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, v. 63, n. 3, p. 50-52, 1990.
- SALIM, M.; SAXENA, R. C. Iron, silica and aluminum stresses and varietal resistance in rice: effects on whitebacked planthopper. *Crop Science*, v. 32, p. 212-219, 1992.
- SANTOS, G. R.; KORNDÖRFER, G. H.; PELÚZIO, J. M.; DIDONET, J.; REIS FILHO, J. C. D.; CÉSAR, N. S. Influência de fontes de silício sobre a incidência e severidade de doenças e produtividade do arroz irrigado. *Bioscience Journal*, v. 19, n. 2, p. 65-72, 2003.
- SASAMOTO, K. Resistance of the rice plant applied with silicate and nitrogenous fertilizers to the rice stem borer, *Chilo suppressalis* Walker. In: *Proceedings of the Faculty of Liberal Arts and Education*. v. 3. Japan: Yamanashi University, 1961.
- SCHMIDT, R. E.; ZHANG, X.; CHALMERS, D. R. Response of photosynthesis and superoxide dismutase to silica applied to creeping bentgrass grown under two fertility levels. *Journal of Plant Nutrition*, v. 22, p. 1763-1773, 1999.
- SCHUBERT, H. H.; SALBECK, G.; KNAUF, W.; SCHAUB, R.; WALTERSDORFER, A.; LEIST, K. H.; SCHOLLMMEIER, U.; FISCHER, R.; GÖRLITZ, G. Synthesis and properties of the silaneophane HOE 084498 – a promising new insecticide. In: *Pest management in rice*. London, UK: Society of Chemical Industry, 1990. p. 190-202.
- SEEBOLD, K. W.; DATNOFF, L. E.; CORREA-VICTORIA, F. J.; KUCHAREK, T. A.; SNYDER, G. H. Effects of silicon and fungicides on the control of leaf and neck blast in upland rice. *Plant Disease*, v. 88, p. 253-258, 2004.
- SHI, X.; ZHANG, C.; WANG, L.; ZHANG, F. Effect of Si on the distribution of Cd rice seedlings. *Plant and Soil*, v. 272, p. 479-482, 2005.
- SILVEIRA JUNIOR, E. G.; PENATTI, C.; KORNDÖRFER, G. H.; CAMARGO, M. S. Silicato de cálcio e calcário na produção e qualidade da cana-de-açúcar – Usina Catanduva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 2003, Ribeirão Preto. *Anais...* Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 66.
- SUBBARAO, D. V.; PERRAJU, A. Resistance in some rice strains to first-instar larvae of *Tryporyza incertulas* (Walker) in relation to plant nutrients and anatomical structure of the plants. *International Rice Research Newsletter*, v. 1, n. 1, p. 14-15, 1976.
- SUN, X. H.; SUN, Y. J.; ZHANG, C. S.; SONG, Z. H.; CHEN, J.; BAI, J. K.; CUI, Y. Y.; ZHANG, C. The mechanism of corn stalk rot control by application of potassic and siliceous fertilizers. *Acta Phytologica Sinica*, v. 21, p. 102-108, 1994.
- UKWUNGWU, M. N.; ODEBIYI, J. A. Resistance of some rice varieties to the African striped borer, *Chilo zaccoonius* Bleszynski. *Insect Science and its Application*, v. 6, p. 163-166, 1985.
- VOLK, R. J.; KAHN, R. P.; WINTRAUB, R. L. Silicon content of the rice plant as a factor influencing its resistance to infection by the blast fungus – *Piricularia oryzae*. *Phytopathology*, v. 48, n. 4, p. 179-84, 1958.
- WANG, L.; WANG, W.; CHEN, Q.; CAO, W.; LI, M.; ZHANG, F. Silicon-induced cadmium tolerance of rice seedlings. *Journal of Plant Nutrition*, v. 23, n. 10, p. 1397-1406, 2000.
- WIESE, H.; NIKOLIC, M.; RÖMHELD, V. Silicon in plant nutrition – effects on zinc, manganese and boron leaf concentrations and compartmentation. In: SATTELMACHER, B.; HORST, W. J. (Ed.). *The apoplast of higher plants: compartment of storage, transport and reactions*. London: Springer, 2007. p. 33-47.
- YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. *Bulletin of the National Institute of Agricultural Science*, v. 15, p. 1-58, 1965.
- YOSHIHARA, T.; SOGAWA, K. Soluble silicic and insoluble silica contents in leaf sheaths of rice varieties carrying different BPH-resistance genes. *International Rice Research Newsletter*, v. 4, p. 12-13, 1979.
- ZANÃO JUNIOR, L. A.; RODRIGUES, F. A.; FONTES, R. L. F.; KORNDÖRFER, G. H.; NEVES, J. C. L. Rice resistance to brown spot mediated by silicon and its interaction with manganese. *Journal of Phytopathology*, v. 157, p. 73-78, 2009.
- ZSOLDOS, F.; VASHEGYI, A.; PECSVARADI, A.; BONA, L. Influence of silicon on aluminium toxicity in common and durum wheats. *Agronomie*, v. 23, p. 349-354, 2003.
- 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.