



**Governo do Estado de São Paulo**  
Secretaria de Agricultura e Abastecimento  
Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios  
Instituto Biológico



Documento Técnico 017 – Janeiro de 2015 – p.1-13



# O USO DO SILÍCIO NO MANEJO DE PRAGAS

Rafael Marangoni Montes<sup>1</sup> Sônia Maria Nalesso Marangoni Montes<sup>2</sup>; Adalton Raga<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ms. Eng. Agrônomo. FCAV/Unesp - Jaboticabal, SP, Brasil. [rafammontes@yahoo.com.br](mailto:rafammontes@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Pesquisador Científico – APTA – Polo Regional Alta Sorocabana, Presidente Prudente, SP, Brasil. [soniamontes@apta.sp.gov.br](mailto:soniamontes@apta.sp.gov.br)

<sup>3</sup>Pesquisador Científico – Centro Experimental Central – Instituto Biológico, Campinas, SP, Brasil. [adalton@biologico.sp.gov.br](mailto:adalton@biologico.sp.gov.br)

## 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O SILÍCIO

O silício (Si) é o segundo elemento em abundância na crosta terrestre, depois do oxigênio. Apesar das quantidades consideráveis encontradas nos solos, principalmente os arenosos, a maioria dos solos é pobre em Si solúvel ou disponível para as plantas ( $\text{H}_2\text{SiO}_4$  – ácido monossilícico). Nessas condições, provavelmente, pode-se esperar resposta positiva para aplicação de Si na forma de fertilizantes, principalmente em plantas acumuladoras de Si.

O óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) é o mineral mais abundante nos solos, constituindo a base da estrutura da maioria dos argilominerais. Entretanto, em razão do avançado grau de intemperização em que se encontram os solos tropicais, o silício é encontrado, basicamente, na forma de quartzo, opala ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) e outras formas não-disponíveis às plantas (CHÉRIF *et al.*, 1992).

O Si apresenta uma série de efeitos benéficos para o sistema solo-planta. Na planta, o Si absorvido tem efeitos benéficos relacionados à proteção contra os estresses bióticos e abióticos. Entre esses benéficos, ocorre o aumento da resistência ao ataque de insetos pragas, sem qualquer alteração no genoma planta (CHÉRIF *et al.*, 1992).

De acordo com PRADO *et al.* (2001), as características consideradas ideais para uma boa fonte de silicato para fins agrícolas são: alta concentração de Si solúvel, boas propriedades físicas, facilidade para aplicação mecanizada, pronta disponibilidade às plantas, boa relação e quantidades de Ca e Mg, baixa concentração de metais pesados e baixo custo.

O Si pode ser absorvido pela planta na forma de ácido monossilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_2$ ) juntamente à água (fluxo de massa) e se acumula principalmente nas áreas de máxima transpiração (tricomias, espinhos, etc.), na forma de ácido silícico polimerizado (sílica amorfa) (JONES; HANDRECK, 1967). A maior parte do Si é incorporada na parede celular, principalmente nas células da epiderme, estômatos e tricomas, ou depositada juntamente a outros elementos, originando depósitos amorfos chamados de fitólitos ou sílica biogênica (MITANI; MA, 2005).

Em geral, são consideradas plantas acumuladoras de Si aquelas que possuem teor foliar acima de 1%, e não acumuladoras plantas com teor de silício menor que 0,5% (MA *et al.*, 2001). Ao ser absorvido pelas plantas, o Si é facilmente translocado no xilema e tem tendência natural a se polimerizar (KONRDÖRFER, 2004).

Apesar do crescente interesse pelas fontes de Si, esse elemento ainda é pouco utilizado, devido à falta de oferta de fertilizantes silicatados em todas as regiões do Brasil, o que onera as despesas com transporte (frete) dos poucos centros distribuidores. A baixa aplicação de Si também decorre do fato de ainda existir um desconhecimento sobre as vantagens do seu uso na agricultura, tanto por parte dos técnicos quanto dos produtores (MARAFON; ENDRES, 2011).

Como alternativa para suprir a necessidade de Si, podem ser utilizados resíduos vegetais (casca de arroz e bagaço de cana) ou as cinzas obtidas da queima desses materiais para geração de vapor. Entretanto, estas fontes são de liberação lenta no solo e insuficientes para atender à demanda por Si na agricultura.

Um grande número de materiais industrializados pode ser utilizado como fonte de silicatos para atendimento de demandas da agricultura. Dentre eles, podem ser citados: escórias de siderurgia, wollastonita, subprodutos da produção de fósforo elementar, silicatos de cálcio, sódio, potássio e magnésio (serpentinó), cimento, termofosfato (LIMA FILHO *et al.*, 1999). As principais fontes comerciais de silicatos disponíveis no mercado brasileiro são listadas na Tabela 1. Além dessas fontes, são encontrados outros produtos comerciais no mercado nacional, incluindo soluções fluídas e rochas silicatadas, dentre os quais podem ser citados: Sili-fértil® (Silifértil Ambiental Ltda.), Microton® (Estelar Com. & Ind. de Imp. e Exp. Ltda.), Siligran® (Fertion Indústria de Fertilizantes Ltda.), Termofosfato Yoorin® (Yoorin Fertilizantes Ltda.), Siligesso® (Agronelli Insumos Agrícolas Ltda.), Sili-K® (Unaprosil Ind. Com. de Prod. Químicos Ltda.), Itafértil® (Mineração São Judas Ltda.), Sifol® (Wox Agrociência Comercial Ltda.) (REIS *et al.*, 2007) e Ekosil® (Yoorin Fertilizantes Ltda.).

**Tabela 1. Teores de silício total e solúvel, óxidos de cálcio (CaO) e magnésio (MgO) e poder de neutralização (PN) de algumas fontes comerciais de silício.**

Fonte de Si	Origem	Teor de Silício (%)		%CaO	%MgO	%PN**
		Total	Solúvel*			
Wollastonita	Vansil	51,9	30,1	42,4	0,2	76,4
Alto-forno	Mannesman	38,4	6,7	30,1	7,5	72,6
Forno LD	Mannesman	12,3	33,1	40,9	7,3	91,3
Escória de P	Rhodia	46,1	39,0	43,5	0,7	79,6
MB-4	Mibasa	48,0	1,8	2,2	19,1	51,5
Alto-forno	CSN	33,4	5,1	42,5	5,2	89,1
Forno LD	CSN	10,9	4,5	28,2	7,6	69,3
Forno LD	Belgo	17,4	27,1	39,5	9,6	94,4
Forno elétrico	Siderme	15,8	40,7	25,7	12,6	77,2
Aço inox	Recmix	23,2	43,4	41,0	11,0	100,7
Forno LD	Açominas	11,2	21,0	27,6	2,9	56,5
Subproduto Magnesiano	Rima - SILMAG	24,0	53,0	55,0	12,0	10,3

\*Percentual do Si total solúvel em Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. \*\* Equivalente em CaCO<sub>3</sub> Fonte: KORNDÖRFER (2007).

A deposição de Si na cutícula das folhas confere proteção às plantas e ameniza os efeitos de estresses de natureza biótica e abiótica (EPSTEIN, 1999). O Si ocorre com maior frequência nas regiões onde a água é perdida em grande quantidade, ou seja, na epiderme foliar junto às células-guarda dos estômatos e outra célula epidérmica. Esses depósitos de sílica nos tecidos foliares promovem a redução na taxa de transpiração (DAYANANDAM *et al.*, 1983).

O acúmulo de sílica nos órgãos de transpiração leva à formação de uma dupla camada de sílica, logo abaixo da epiderme, agindo como barreira mecânica contra a invasão de fungos e insetos (LANNING; LINKO, 1961; COMHAIRE, 1965; CHERIF *et al.*, 1992; KORNDÖRFER, 2004). Segundo GUERRA *et al.* (2014), plantas de algodoeiro supridas com silício, tanto as infectadas por ramulose como as sadias, passaram a usar de maneira mais eficiente a água, fixando uma maior quantidade de CO<sub>2</sub> por molécula de água transpirada. Esse fato é possível devido ao acúmulo de Si, que proporciona uma proteção mecânica à epiderme e, ao mesmo tempo, aumenta a resistência à seca, o Si acumulado nas lâminas foliares forma uma dupla camada de sílica-celulose que confere diminuição da permeabilidade ao vapor de água, o que limita a perda de água através da cutícula, reduzindo a transpiração cuticular (MA *et al.*, 2001; YOSHIDA *et al.*, 1962).

Fertilizantes à base de silício estão entre os produtos citados na literatura como indutores de resistência (DATNOFF *et al.*, 2001). A indução de resistência de plantas a insetos é uma estratégia em potencial no manejo integrado de pragas que pode provocar mudanças tanto na qualidade como na quantidade de compostos do metabolismo secundário e de proteínas de defesa, acúmulo de oxigênio reativo, como também modificações na qualidade do alimento e reforço das barreiras estruturais da planta. Esses diferentes tipos de respostas podem ocorrer isoladamente ou em combinações distintas, dependendo do agente indutor e da planta em questão, implicando na redução dos efeitos prejudiciais da aplicação de inseticidas para o controle de pragas (VENDRAMIM; FRANÇA, 2006) ao homem e ao meio ambiente.

A indução de resistência envolve a ativação de mecanismos de defesa latentes existentes nas plantas em resposta ao tratamento com agentes bióticos ou abióticos. O silício pode agir como elicitador do processo de resistência induzida (FAWE *et al.*, 2001). Esses agentes elicitadores induzem alguma resposta de defesa na planta, como modificações celulares, fisiológicas e morfológicas (DIXON *et al.*, 1994). Resultados recentes de pesquisa sugerem que, em plantas de pepino, o Si age no tecido hospedeiro afetando os sinais entre o hospedeiro e o patógeno, resultando em uma ativação mais rápida e extensiva dos mecanismos de defesa da planta (SAMUELS *et al.*, 1991; CHÉRIF *et al.*, 1992a; CHÉRIF *et al.*, 1992b; CHÉRIF *et al.*, 1994)

Embora não seja considerado um elemento nutricional essencial para as plantas, a adição de silício além da indução de resistência em muitas espécies de plantas apresenta também ação benéfica atribuída a alguns fatores, como aumento da capacidade fotossintética, planta mais eretas, redução da transpiração, aumento da resistência mecânica das células e aumento da resistência das plantas ao ataque dos insetos e doenças (MORAES *et al.*, 2005).

## 2. O SILÍCIO COMO FATOR DE RESISTÊNCIA NAS PLANTAS CONTRA INSETOS

O Silicato de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ) tem sido frequentemente testado como fonte para aplicação direta no solo em estudos que visam avaliar a interação do Si e seu efeito sobre insetos herbívoros, incluindo *Eldana saccharina* Walker, 1865, *Diatrea saccharalis* (Fabr., 1794) (ANDERSON; SOSA, 2001; KEEPING; MEYER, 2002; KVEDARAS *et al.*, 2007), insetos que se alimentam no floema *Schizaphis graminum* Rondani, 1852 (CORREA *et al.*, 2005; GOUSSAIN *et al.*, 2005) e os que se alimentam nos folívoros, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (KONRDÖRFER *et al.*, 2004; REDINOND; POTTER, 2007). Exceto nos casos de insetos folívoros, observaram-se reduções significativas no desenvolvimento do inseto e no dano à planta.

O aumento da resistência das plantas aos herbívoros pode ser causado pela redução da digestibilidade e/ou aumento da dureza dos tecidos das plantas, devido à deposição da sílica amorfa nas células da epiderme. Recentes estudos têm demonstrado também que o Si solúvel está envolvido na defesa química induzida por meio do aumento da produção de enzimas de defesa ou da possível melhoria na liberação de voláteis responsáveis pela atração de inimigos naturais, melhorando assim o controle biológico dos herbívoros (REYNOLDS *et al.*, 2009).

A ação do Si sobre os insetos herbívoros pode ocorrer de duas formas: ação direta e ação indireta (KVEDARAS; KEEPING, 2007). Os efeitos diretos incluem a redução no crescimento da planta e na reprodução do inseto, com simultânea redução do dano na planta. Estudos demonstraram o aumento da resistência em plantas com Si a insetos herbívoros e outros artrópodes (MORAES *et al.*, 2004; KVEDARAS; KEEPING, 2007). Os efeitos indiretos podem ser considerados como a diminuição ou atraso da penetração do inseto na planta, reduzindo o tempo de exposição da planta às pragas, às condições climáticas adversas e às medidas de controle químico (KVEDARAS; KEEPING, 2007).

O pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae) é considerado praga-chave do sorgo e de outras gramíneas de importância econômica. No sorgo, ele danifica a planta pela sucção de seiva, injeção de toxinas que destroem a parede celular e causam clorose e necrose dos tecidos das folhas e caules. Além disso, o pulgão pode transmitir a virose conhecida como "mosaico anão do sorgo", predispor as plantas à podridão do colmo e reduzir a qualidade dos grãos. Na resposta de defesa das plantas contra a herbivoria, os elicitores desempenham importante função de estimular a atividade de enzimas de defesa (DIXON *et al.*, 1994). O nutriente silício tem sido considerado um importante elicitador dessas enzimas ao induzir a resistência das plantas contra o ataque de insetos. Além da adubação silicatada, a infestação prévia das plantas também ativa o sistema de defesa da planta. O silício, em pré-infestação, afeta negativamente a preferência de *S. graminum* e sua taxa intrínseca de aumento populacional, além de desencadear um aumento significativo das enzimas peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina amonialiase (GOMES *et al.*, 2005).

Na cultura do trigo, o pulgão-verde não mostrou preferência pelas plantas que receberam aplicação



de Si via foliar ou solo, em teste com chance de escolha em laboratório. Esse resultado pode estar associado à deposição da sílica na parede celular, o que teria dificultado a penetração do estilete na planta cujo grau de resistência foi aumentado em função da aplicação de silício (MORAES *et al.*, 2004). Ainda para o mesmo pulgão, BASAGLI *et al.* (2003) observaram a não preferência das ninfas por plantas que receberam silicato de sódio, provocando baixa fecundidade e longevidade de *S. graminum*. BLUM (1968), analisando as características anatômicas de genótipos de sorgo quanto à resistência mecânica das plântulas à penetração de larvas da mosca *Atherigona varia soccata* (Rond.) (Diptera: Muscidae), observou que os genótipos resistentes caracterizaram-se por uma distinta lignificação, pela maior espessura das paredes celulares e pela presença de alta densidade de armações de Si (parecidos com halteres) na epiderme abaxial da base das bainhas das folhas.

CORRÊA *et al.* (2005) avaliaram o efeito do silicato de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ) e do ativador acibenzolar-S-methyl (BTH) na indução de resistência em pepino à mosca-branca *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) (Hemiptera, Aleyrodidae) biótipo B, e concluíram que eles causaram efeitos negativos na população da mosca-branca pela redução da oviposição, aumento do ciclo biológico e da mortalidade na fase de ninfa.

SAVANT *et al.* (1997) relataram os benefícios potenciais do Si aumentando e mantendo a produtividade de arroz, em decorrência da melhoria no crescimento das plantas, aumento da produção, interações positivas com fertilizantes NPK, induzindo a resistência a estresses bióticos e abióticos e o aumentando a produtividade em 26 solos pobres. Também testaram e detalharam técnicas para determinação da disponibilidade de Si em solos e plantas.

O Si, uma vez absorvido pelos vasos do xilema, é depositado nas paredes do tecido vegetal, formando uma barreira física (BLUM, 1968), o que poderia ter dificultado a penetração dos estiletos do pulgão e, portanto, dificultado a sua alimentação. O maior teor de Si nas plantas de sorgo afetou a preferência para alimentação e a reprodução do pulgão-verde, induzindo resistência em genótipo suscetível.

A prática de uma agricultura que preserva os recursos naturais e otimize a produtividade tem se tornado cada vez mais necessária, destacando-se o sistema orgânico de produção, que vem apresentado um crescimento mundial expressivo (SOUZA; REZENDE, 2003). No cultivo da batata inglesa, produto de grande importância na dieta brasileira, utilizam-se grandes quantidades de fertilizantes químicos e produtos fitossanitários. O sistema orgânico apresenta uma menor produtividade em relação ao convencional, mas uma viabilidade econômica e relação custo/benefício superior ao sistema convencional, entretanto, depende grandemente da sanidade da cultura em relação às pragas e doenças para obtenção de melhores produtividades (DAROLT *et al.*, 2003). A adubação com Si, utilizada como indutor de resistência a insetos-praga em batata-inglesa sob sistema orgânico, mostrou resultado positivo, devido à redução das injúrias causada por dois importantes desfolhadores, *Diabrotica speciosa* Germar, 1824 (Coleoptera: Chrysomelidae) e *Liriomyza* spp. (Diptera: Agromyzidae). Assim, a utilização do Si, independentemente da forma de aplicação e da fonte utilizada, aumentou a resistência das plantas, possivelmente em razão do acúmulo e polime-

rização na parede celular, aumentando a rigidez dos tecidos foliares e dificultando a alimentação, e/ou a indução de moléculas defensivas como taninos e lignina, entre outras substâncias de defesa (GOMES *et al.*, 2009).

A indução de resistência também foi detectada para *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) (Hemiptera: Aphididae) em batata inglesa. Os tratamentos com o inseticida imidacloprid apresentaram reduzido número de adultos de pulgões, enquanto plantas tratadas com silício apresentaram redução significativa de ninfas, devido ao efeito desse elemento na fecundidade dos pulgões e/ou na mortalidade direta de ninfas (GOMES *et al.*, 2008). Esses autores também observaram que o uso da metade da dosagem recomendada de imidacloprid (126g/ha) em mistura com Si foi igualmente eficiente para impedir a colonização de *M. persicae*. Todavia, não observaram efeito sinérgico do Si com o inseticida imidacloprid, como relatado por NERI *et al.* (2005) para o inseticida lufenuron e Si contra *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). A ausência de pulgões nas plantas, mesmo com a metade da dose do inseticida, pode ser devida ao efeito letal do imidacloprid (FOSTER *et al.*, 2003) ou à sua ação como fagoderrente, que afeta a movimentação e o comportamento alimentar de pulgões, particularmente em condições subletais (NAUEN, 1995; BOITEAU; OSBORN, 1997). Além do controle de *M. persicae*, a utilização de baixa dosagem de imidacloprid pode ser eficiente na prevenção da transmissão do potato leafroll virus (MOWRY; OPHUS, 2002; MOWRY, 2005).

O trips do prateamento, *Enneothrips flavens* Moulton, 1941 (Thysanoptera: Triptidae), é considerado a principal praga do amendoim no Brasil, por sua ocorrência generalizada, elevados níveis populacionais e pelos danos causados a cultura. A aplicação foliar de Si proporcionou proteção às plantas de amendoim, reduzindo o número de adultos e ninfas do trips *E. flavens* e aumentou a produtividade da cultura em 31,30% de amendoim em casca e 28,85% em grãos (DALASTRA *et al.*, 2011).

A traça-das-crucíferas *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae) é causadora das maiores perdas econômicas em cultivo de brássicas no mundo (VOICE; CHAPMAN, 2000). Um estudo sobre o efeito da aplicação de silício na incidência da traça-das-crucíferas em repolho foi realizado em Brasília. Uma escala de notas foi utilizada para avaliar as plantas em função dos danos da traça no momento da colheita. Embora as plantas da testemunha tenham apresentado melhor aspecto comparado às demais, indicando que o silício aplicado via solo pode vir a contribuir para redução dos danos da traça, não foi observado efeito significativo do silício no controle da praga (SILVA *et al.*, 2010).

O efeito do silício aplicado via solo e foliar, bem como sua interação com o inseticida regulador de crescimento lufenuron no manejo de *S. frugiperda* em plantas de milho, foi observado em condições de casa-de-vegetação em Lavras (MG). Os tratamentos não afetaram a preferência da lagarta-do-cartucho em teste de livre escolha, mas a interação silício e lufenuron no manejo de *S. frugiperda* foram positivas em relação ao inseticida isolado, provavelmente devido à resistência mecânica conferida pelo Si as folhas (NERI *et al.*, 2005).

A redução da dose de inseticida no controle de insetos-praga proporcionaria vários benefícios, dentre os quais, a diminuição do gasto com inseticidas. No Brasil, o item inseticida representa 13% do custo de produção da batata inglesa (AGRIANUAL, 2007). Além disso, o uso do Si contribuiria para o manejo da resistência de insetos a inseticidas, que é um dos grandes entraves em programas de controle de pragas envolvendo o uso de produtos químicos.

A resistência induzida por silício tem proporcionado a redução da herbivoria em diversas culturas, porém existem poucos trabalhos sobre o efeito do silício no comportamento e na biologia dos inimigos naturais. MORAES *et al.* (2004) avaliaram a influência do Si na relação do pulgão-do-trigo *S. graminum* e dois importantes inimigos naturais: o predador *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) e *Aphidius colemani* Viereck, 1912 (Hymenoptera: Braconidae). Apesar de o Si ter aumentado o grau de resistência da planta ao pulgão verde, não se observaram alterações nas características biológicas tanto do predador quanto do parasitoide. Isto demonstra que a resistência induzida por Si em trigo, mediante mecanismo de não preferência, auxilia no controle de *S. graminum* sem afetar os inimigos naturais chave.

Em razão de muitas dúvidas quanto ao comportamento dos inimigos naturais que se alimentavam de plantas cuja resistência era induzida por Si, KVEDARAS *et al.* (2010) realizaram ensaios para averiguar o comportamento do predador generalista *Dicranolaius bellulus* (Guérin-Méneville, 1830) (Coleoptera: Melyridae) em plantas adubadas com silicato de potássio e na presença e ausência da praga *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera: Noctuidae). As plantas adubadas com silicato de potássio e infestadas com o inseto-praga foram mais atrativas ao predador. Desta forma, fica evidente a importância da herbivoria para induzir o sistema de defesa da planta na geração de voláteis importantes na atração do predador, influenciando assim, no comportamento de busca do inimigo natural.

ADLAKHA (1964) observou que a sensibilidade de vários cultivares de cana-de-açúcar para a broca do colmo *Scirpophaga nivella* (FABR.) (Lepidoptera: Pyralidae) estava associada a fatores como o teor de Si das plantas. Trabalhos conduzidos por KEEPING; MEYER (2002), com cana-de-açúcar, mostraram que a aplicação de silicato de sódio conferiu resistência à broca-da-cana, *Eldana saccharina*. Segundo esses autores, foram observados aumentos significativos no teor de Si nas plantas tratadas com silicato de sódio. Os tratamentos com Si reduziram significativamente os danos produzidos pela broca em termos de tamanho de caule e internódios broqueados. MARAFON; ENDRES (2011) relataram que, no caso dos insetos mastigadores, os efeitos do silício são bastante nítidos, pois esse endurecimento dos tecidos provoca o desgaste das mandíbulas, impedindo ou dificultando a mastigação e a ingestão dos tecidos da planta.

A lagarta do cartucho-do-milho *Spodoptera frugiperda* (J.E.SMITH) (Lepidoptera: Noctuidae), ao se alimentar de folhas de plantas de milho adubadas com Si, apresentou desgaste acentuado na região incisora das mandíbulas, provavelmente devido à dificuldade de alimentação, ocasionando aumento de mortalidade e canibalismo (GOUSSAIN *et al.*, 2002).



A aplicação de metassilicato de sódio resultou no decréscimo da incidência das principais pragas da cultura do arroz. A ocorrência de *Sogatella furcifera* (HÓRVATH, 1899) e *Nilaparvata lugens* STAL, 1854 (Hemiptera: Delphacidae), *Omiodes indicata* FABRICIUS, 1775 (Lepidoptera: Crambidae) e *Elasmoplapus lignosellus* ZELLER (Lepidoptera: Pyralidae) por plantas de arroz foi reduzida a 1,8; 1,7; 7,6 e 6,3% respectivamente (BALASUBRAMANIAM et al., 2005).

LORINI (2001) e LORINI *et al.* (2001) relataram o efeito benéfico do Si também no controle de pragas de grãos armazenados. Os autores verificaram que pós à base de terra de diatomáceas, apresentando dióxido de sílica como ingrediente principal, mostraram-se eficientes na redução da infestação de pragas de grãos de milho e cevada. A sílica presente neste produto tem a capacidade de desidratar os insetos, matando-os em período variável de um a sete dias, dependendo da espécie-praga. Segundo FERNANDES *et al.* (2009), a utilização de Si no controle fitossanitário é uma alternativa eficiente no controle de pragas e doenças, devendo ser empregada como prática auxiliar.

Estudos sugerem que o Si aumenta a resistência da planta a pragas e doenças estimulando a expressão de reações naturais de defesa da planta por meio da produção de metabólitos de baixo peso molecular, que incluem fitoalexinas e flavonoides (MEYER;KEEPING, 2000). O melhoramento genético tem sido proposto para obtenção de plantas com maior teor de Si visando à obtenção de resistências múltiplas (FENG, 2004).

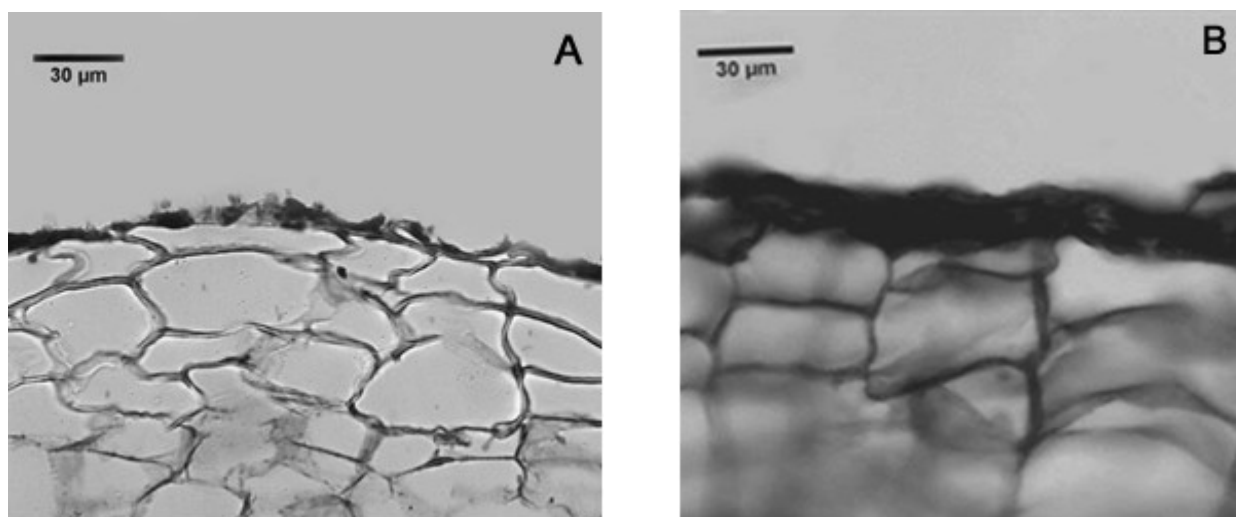


Figura 1 - Corte transversal da epiderme de tubérculo de batata-doce. (A) Tratamento sem silício e (B) Tratamento com silício. Presidente Prudente, SP. Maio/2013.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se que o contexto nutricional é um dos fatores que afetam os processos ecológicos, fisiológicos e comportamentais dos insetos, a adubação adequada possibilita um desenvolvimento vegetati-

vo mais eficiente, compensando as perdas provocadas por pragas que atacam as estruturas vegetativas, podendo ser usada como tática de manejo de insetos.

O Si é um produto natural com alto potencial de uso na agricultura, pois, além de promover melhorias no metabolismo de plantas, ativa genes envolvidos na produção de enzimas relacionadas com os mecanismos de defesa contra insetos, revelando-se como uma alternativa promissora.

#### 4. REFERÊNCIAS

- ADLAKHA, P. A. Studies of factores responsible for resistance to top borer on different varieties of sugarcane. *Indian Journal Sugarcane Research Development*, Uttar Pradesh, n. 83, p. 343-344, 1964.
- ANDERSON, D. L.; SOSA JR, O. Effect of silicon on expression of resistance on sugarcane borer (*Diatraea saccharalis*). *Journal of the American Society Sugar Cane Technologists*, Baton Rouge, v. 21, p. 43-50, 2001.
- AGRIANUAL Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio. 2007. 516 p.
- BASAGLI, M. A. B.; MORAES, J. C.; CARVALHO, G. A.; ECOLE, C. C.; GONÇALVES-GERVÁSIO, R. DE C.R. Effects of sodium silicate application on the resistance of wheat plants to the green-aphid *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, Londrina, v. 32, p. 659-663, 2003.
- BALASUBRAMANIAM, P.; SUBRAMANIAM, S.; CHANDRAMANIAM, P. Influence of silicone sources on the incidence of major rice pests. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia, *Anais...*: Uberlândia: UFU, ICIAG, 2005. p.104.
- BLUM, A. Anatomical phenomena in seedlings of sorghum varieties resistant to the sorghum shoot fly *Atherigonavariasoccata*. *Crop Science*, Madison, v. 8, n. 3, p. 388-391, 1968.
- BOITEAU, G; OSBORN, W. P. L. Behavior effects of imidacloprid, a new nicotinyl insecticide, on the potato aphid, *Macrosiphum-aphorbiae* (Thomas) (Homoptera: Aphididae). *Canadian Entomologist*, Ottawa, v. 129, n. 2, p. 241-249, 1997.
- CHÉRIF, M; BÉLANGER, R. R. Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium* on long English cucumber. *Plant Disease*, Minnesota, v. 76, n. 10, p. 1008-1011, 1992.
- CHERIF, M.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G.; BELANGER, R.R. Silicon induced resistance in cucumber plants against *Phytophthora ultimum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, Amsterdam, v. 41, n. 6, p. 411-425, 1992a.
- CHERIF, M.; MENZIES, J. G.; BENHAMOU, N.; BELANGER, R.R. Studies of silicon distribution in wounded and *Phytophthora ultimum* infected cucumber plants. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, Amsterdam, v.41, n. 5, p. 371-385, 1992b.
- CHERIF, M.; MENZIES, J. G.; Ehret, D.L.; Bogdanoff, C.; BELANGER, R.R. Yield of cucumber infected with *Phytophthora aphanidermatum* when brown with soluble silicon. *HortScience*, Virginia, v. 29, n. 8, p.896-897, 1994.
- COMHAIRE, M. El papel de la silice para losvegetales. *Analesdel Instituto de Biologia de la Universidad Nacional del México*, Ciudad del México, v. 25, p. 35-38, 1965.
- CORREA, R. S. B.; MORAES, J. C.; AUAD, A. M.; CARVALHO, G. A. Silicon and Acibenzolar-S-methylas resistance inducers in cucumber against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) byotipe B. *Neotropical Entomology*, Londrina, v.34, n. 3, p. 429-433, 2005.

- DALASTRA, C.; CAMPOS, A. R.; FERNANDES, F. M.; MARTINS, G. L. M.; CAMPOS, Z. R. Silício como indutor de resistência no controle do trips do prateamento *Enneothrips flavens* Moulton, 1941 (Thysanoptera: Thripidae) e seus reflexos na produtividade do amendoineiro. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 3, p. 531-538, 2011.
- DAROLT, M.; RODRIGUES, A.; NAZARENO, N.; BRISOLLA, A.; RÜPPEL, A. *Análise comparativa entre o sistema orgânico e convencional de batata comum*. Curitiba: IAPAR, [2003]. Disponível em: [http://www.iapar.br/arquivos/File/zip\\_pdf/Darolt%20-%20BatataOrganica%20FINAL.pdf](http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/Darolt%20-%20BatataOrganica%20FINAL.pdf). Acesso em: 25 jan. 2009.
- DAYANANDAM, P.; KAUFMAN, P. B.; FRAKIN, C. I. Detection of silica in plants. *America Journal Botany*, Madison, v. 70, n. 7, p. 1019-1084, 1983.
- DATNOFF, L. E.; SEEBOLD, K. W.; CORREA, V. F. J. The use of silicone for integrated disease management: reducing fungicide applications and enhancing host plant resistance. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. *Silicon in Agriculture*. Netherlands: Elsevier Science, 2001. p. 171-183.
- DIXON, R. A.; HARRISON, M. L.; LAMB C. L. Early events in the activation of plant defense responses. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, v.32, p. 479-501, 1994.
- EPSTEIN, E. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology Plant Molecular Biology*, v. 50, p. 641-664, 1999.
- FAWE, A. et al. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. (Ed.). *Silicon in Agriculture*. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 159-166.
- FENG, M. J. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science and Plant Nutrition*, London, v. 50, n. 1, p. 11-18, 2004.
- FERNANDES, A. L. T. et al. Utilização do silício no controle de pragas e doenças do cafeeiro irrigado. *FAZU em Revista*, Uberaba, v. 6, p.11-52, 2009.
- FOSTER, S. P.; DENHOLM, I.; THOMPSON, R. Variation in response to neonicotinoid insecticides in peach-potato aphids, *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Pest Management Science*, Sussex, v. 59, n. 2, p.1 66-173, 2003.
- GOMES, F. B. et al. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 547-551, 2005.
- GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; ASSIS, G.A. Silício e imidacloprid na colonização de plantas por *Myzus persicae* e no desenvolvimento vegetativo de batata inglesa. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 5, p. 1209-1213, 2008.
- GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; NERI, D. K. P. Adubação com silício como fator de resistência a insetos-praga e promotor de produtividade em cultura de batata inglesa em sistema orgânico. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 33, n. 1, p. 18-23, 2009.
- GOUSSAIN, M. M. et al. Effect of silicon application on corn plants upon the biological development of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. SMITH) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, Londrina, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.
- GOUSSAIN, M. M.; PRADO, E.; MORAES, J. C. Effect of silicone applied to wheat plants on the biology and probing behavior of the Greenbug *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, Londrina, v. 34, n. 5, p. 807-913, 2005.
- GUERRA, A.M.N. et al. Capacidade fotossintética de plantas de algodoeiro infectadas por ramulose e supridas com silício. *Bragantia*, Campinas, v. 73, n. 1, p. 50-64, 2014.

- JONES L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plant and animals. *Advances in Agronomy*, Amsterdam, v. 19, p. 107-149, 1967.
- KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Calcium silicate enhances resistance of sugarcane to the African stalk borer *Eldana saccharina* Wlaker (Lepidoptera: Pyralidae). *Agricultural and Forest Entomology*, Hopboken, v.4, n. 4, p.265-274, 2002.
- KONRDORFER, G. H. Uso do silício na agricultura. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 117, p. 9-11, 2007.
- KVEDARAS, O. L.; KEEPING, M. G. Silicon impedes stalk penetration by the borer *Eldana saccharina* in sugarcane. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, Amsterdam, v.125, n.1, p.103-110, 2007.
- KVEDARAS, O. L. et al. Larval performance of the pyralid borer *Eldana saccharina* Walker and stalk damage in sugarcane: influence of plant silicone, cultivar and feeding site. *International Journal of Pest Management*, London, v. 53, n. 3, p. 183-194, 2007.
- KVEDARAS, O. L. et al. Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defenses. *Bulletin of Entomological Research*, London, v. 100, n. 3, p. 367-371, 2010.
- KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. *Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura*. 3 ed. Uberlândia: G-GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 24 p. (Boletim Técnico, 1).
- LANNING, F. C.; LINKO, Y. Absorption and deposition of silica by four varieties of sorghum. *Journal Agricultural Food Chemical*, Washington, n. 9, n. 6, p. 463-465, 1961.
- LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, S. M. O silício na agricultura. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 87, p. 1-7, 1999.
- LORINI, I. *Efeito de pós inertes sobre as pragas de grãos de cevada armazenada Rhyzoperthadominica e Sitophilus spp*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001 (Comunicado Técnico Online, 62). Disponível em: [http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_co62.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co62.htm). Acesso em: 08 mai. 2013.
- LORINI, I.; FERREIRA FILHO, I. A.; DALBELLO, O. *Validação do pó inerte à base de terra de diatomáceas no controle de pragas de milho armazenado em propriedade familiar*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. (Trigo, Comunicado Técnico Online, 63). Disponível em: [http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_co63.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co63.htm). Acesso: 08 mai. 2013.
- MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E.; SNEDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. (Ed.). *Silicon in Agriculture*. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 17-39. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928342001800069>. Acesso em: 08 mai. 2013.
- MARAFON, A. C.; ENDRES, L. *Adubação silicatada em cana-de-açúcar*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011. 46 p. (Documentos, 165).
- MEYER, J. H.; KEEPING, M. G. Review of research into the role of silicon for sugarcane production. In: ANNUAL CONGRESS SOUTH AFRICAN SUGAR TECHNOLOGISTS, 74., 2000, [S.l.]. Proceedings... [S.l.]: South African Sugar Technologists Association, 2000, p. 29-40.
- MITANI, N.; MA, J. F. Uptake system of silicon in different plant species. *Journal of Experimental Botany*, London, v. 56, p. 1255-1261, 2005.
- MORAES, J. C. et al. Influência do silício na interação tritrófica: plantas de trigo, pulgão-verde *Schizaphisgraminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) e seus inimigos naturais *Chrysoperla externa* (Hagen) e *Aphidiuscolemani* Viereck (Hymenoptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, Londrina, v. 33, n. 5, p. 619-624. 2004.

- MORAES, J.C. et al. Não preferência do pulgão-da-folha *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera :Aphididae) para plantas de milho (*Zea mays* L.) tratadas com silício. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 29, n. 4, p. 761-766. 2005.
- MOWRY, T. M. Insecticidal reduction of Potatoleafroll vírus transmission by *Myzus persicae*. *Annals of Applied Biology*, Warwickshire, v. 146, n. 1, p. 81-88, 2005.
- MOWRY, T. M.; OPHUS, J. D. Effects of sublethalimidacloprid levels on potato leafroll virus transmission by *Myzus persicae*. *Entomologia Experimentales et Applicata*, Amsterdam, v. 103, n. 3, p. 249-255, 2002.
- NAUEN, R. Behavior modifying effects of low systemic concentrations of imidacloprid on *Myzus persicae* with special reference to an antifeeding response. *Pesticide Science*, Sussex, v. 4, n. 2, p. 145-153, 1995.
- NERI, D. K. P.; MORAES, J. C.; GAVINO, M. A. Interação silício com inseticida regulador de crescimento no manejo da lagarta-do-cartucho do milho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 29, n. 6, p. 1167-1174, 2005.
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. *Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil: estudos na cultura da cana-de-açúcar*. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 67p.
- REDINOND, C. T.; POTTER, D. A. Silicon fertilization does not enhance creeping bentgrass resistance to cutworms and white grubs. *USGA Turfgrass and Enviromental Research*, Lakeland, v. 6, n. 3, p. 1-7, 2007.
- REIS, T. H. P. et al. *O silício na nutrição e defesa das plantas*. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. (Boletim Técnico, 82)
- REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. *Annals of Applied Biology*, Warwick, v. 155, n. 2, p. 171-186. 2009.
- SAMUELS, A. L. et al. Distribution of silicon in cucumber leaves during leaves during infection by powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*). *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, v. 69, n. 1, p. 140-146, 1991.
- SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Silicon management and sustainable rice production. *Advances in Agronomy*, v. 58, p.151-199, 1997.
- SILVA, A. L. S. at al. Efeito da aplicação de silício na incidência da traça-das-crucíferas em repolho. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 28, n. 2, (suplemento – CD Rom), 2010.
- SOUZA, J. R.; REZENDE, P. *Manual de Horticultura Orgânica*. Viçosa: Aprenda Fácil, 2003. 564 p.
- VENDRAMIM, J. D.; FRANÇA, S. C. Indução de resistência a insetos. In: CAVALCANTI, L. S. et al. (Ed.). *Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos*. Piracicaba: FEALQ, 2006. p. 511-528.
- VOICE, D. G.; CHAPMAN, R.B. Imported insecticide resistance in diamondback moth. *New Zealand Plant Protection*, Hamilton, v. 53, p.83-86, 2000.
- YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, New York, v.8, n. 3, p.15-21, 1962. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00380768.1962.10430992>. Acesso em: 28 ago. 2014.