



MICHELLE VILELA

**INTERAÇÃO SILÍCIO x *Diatraea saccharalis*
(Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) x
Cotesia flavipes (Cameron, 1891) (Hymenoptera:
Braconidae) EM CANA-DE-AÇÚCAR**

LAVRAS - MG

2013

MICHELLE VILELA

**INTERAÇÃO SILÍCIO x *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794)
(Lepidoptera: Crambidae) x *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891)
(Hymenoptera: Braconidae) EM CANA-DE-AÇÚCAR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Entomologia, área de concentração em Entomologia Agrícola, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Jair Campos Moraes

LAVRAS - MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Vilela, Michelle.

Interação silício x *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794)
(Lepidoptera: Crambidae) x *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891)
(Hymenoptera: Braconidae) em cana-de-açúcar / Michelle Vilela. –
Lavras : UFLA, 2013.

50 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Jair Campos Moraes.

Bibliografia.

1. Broca-da-cana. 2. Resistência induzida. 3. MIP. 4. Parasitoide.
5. Insecta. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 595.7

MICHELLE VILELA

**INTERAÇÃO SILÍCIO x *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794)
(Lepidoptera: Crambidae) x *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891)
(Hymenoptera: Braconidae) EM CANA-DE-AÇÚCAR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Entomologia, área de concentração em Entomologia Agrícola, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 22 de fevereiro de 2013

Dra. Lenira Viana Costa Santa-Cecília	EPAMIG-URESM/EcoCentro
Prof. Dr. Luiz Antônio de Bastos Andrade	UFLA
Dr. Rogério Antônio Silva	EPAMIG-URESM/EcoCentro
Dra. Terezinha Monteiro dos Santos Cividanes	APTA Polo Reg. Centro Leste

Dr. Jair Campos Moraes
Orientador

LAVRAS - MG
2013

Àqueles que ocupam um lugar muito especial em meu coração.

Dedico

A Deus, por estar sempre presente em minha vida, iluminando e abençoando o meu caminho.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial ao Departamento de Entomologia, pela oportunidade concedida para a realização do doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

À Usina Santa Adélia e à Biocontrol, pelo suporte e concessão de material biológico para a manutenção da criação dos insetos.

Ao Departamento de Agricultura da UFLA, à Usina Itaiquara e à cachaçaria João Mendes, pela concessão das cultivares de cana-de-açúcar utilizadas nos experimentos.

Ao professor Jair Campos Moraes, meu mais profundo agradecimento pela enorme colaboração. Seus ensinamentos e preocupação com a minha formação como pesquisadora/educadora serão sempre uma referência. Muito obrigada pelos ensinamentos, paciência, confiança e carinho. Espero ter correspondido às suas expectativas.

À pesquisadora Terezinha Monteiro dos Santos Cividanes e aos professores Eduardo Alves e Luiz Antônio de Bastos Andrade, pela constante presença, incentivo, colaboração e ensinamentos transmitidos. Vocês já fazem parte da minha história.

Aos professores do Departamento de Entomologia da UFLA, pelas contribuições importantes ao longo deste percurso.

Aos estagiários Jonas, Dayane, Mariane e Roney, pela garra e grande auxílio na condução e na coleta de dados dos experimentos realizados. Aos amigos do laboratório Alex, Amanda, Bruno, Francisco, Franscinely, Roberta e em especial à Fabíola, com os quais tive constante compartilhamento de críticas

e risadas, histórias, aprendizado, desenvolvimento de experimento, desabafos, alegrias, tristezas, enfim, obrigada a todos.

A todos os amigos e colegas de departamento que participaram da minha história com risadas e conversas, em especial, a Ricardo e Cristiana, com os quais convivo desde o mestrado. Aos funcionários do Departamento, em especial à dona Irene, pela prontidão em atender e pela convivência, simpatia e amizade.

À Jaqueline Vietro, amiga de “curta data”, mas que já ocupa um lugar especial em meu coração. Obrigada pela constante presença, ensinamentos e risadas. Você é muito importante em minha vida.

A todos, em especial aqueles que não foram citados e que de alguma forma estiveram presentes e que me ajudaram a crescer, como profissional e como pessoa, com a mais simples palavra, atitude ou auxílio, pois todos, independentemente da forma, contribuíram, direta ou indiretamente, nestes quatro anos de minha vida.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Importância da cana-de-açúcar	14
2.2 <i>Diatraea saccharalis</i> como praga em cana-de-açúcar	15
2.3 Silício como indutor de resistência	17
2.3.1 Na planta	17
2.3.2 A insetos-praga	19
2.4 Atuação de <i>Cotesia flavipes</i> em agroecossistemas canavieiros	21
2.5 Interação planta, silício e controle biológico	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 Criação de <i>D. saccharalis</i>	23
3.2 Plantio da cana-de-açúcar	24
3.3 Aplicação de silício	25
3.4 Influência do silício na resistência à <i>D. saccharalis</i> e no desenvolvimento vegetativo de cultivares de <i>Saccharum</i> spp.	25
3.4.1 Infestação artificial das plantas com <i>D. saccharalis</i>	25
3.4.2 Tratamentos	25
3.4.3 Determinação do teor de clorofila	25
3.4.4 Avaliação do sintoma de ‘coração morto’, de lagartas e pupas de <i>D. saccharalis</i> e de massa fresca e seca das plantas	26
3.4.5 Determinação do teor de silício	26
3.5 Influência de cultivares de cana-de-açúcar, aplicação de silício e parasitismo por <i>C. flavipes</i> no controle de <i>D. saccharalis</i>	26
3.5.1 Infestação das plantas com <i>D. saccharalis</i> e <i>C. flavipes</i>	26
3.5.2 Avaliação da intensidade de infestação de <i>D. saccharalis</i> e do parasitismo de <i>D. saccharalis</i> por <i>C. flavipes</i>	27

3.5.3 Determinação dos teores de silício e de lignina	27
3.5.4 Observações microscópicas do acúmulo do silício em folhas cana-de-açúcar	27
3.6 Estatística	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Influência do silício no desenvolvimento vegetativo de cultivares de <i>Saccharum</i> spp. e na indução de resistência à <i>D. saccharalis</i>	29
4.2 Influência de cultivares de cana-de-açúcar, aplicação de silício e parasitismo por <i>C. flavipes</i> no controle de <i>D. saccharalis</i>	34
5 CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS	40

RESUMO

Na cultura de cana-de-açúcar, o dano provocado pela lagarta *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) é significativo devido à penetração de microrganismos nos orifícios de alimentação das lagartas nos colmos, ocasionando redução na produção de açúcar e de álcool. Dentre as táticas de manejo integrado de pragas (MIP), a indução de resistência da planta hospedeira é uma opção de controle, sendo o silício um fator que pode aumentar o grau de resistência ao ataque de insetos-praga. Neste estudo, avaliaram-se o efeito da aplicação de silício (Si) no desenvolvimento vegetativo das cultivares de cana-de-açúcar RB72454 (moderada resistência) e SP801842 (suscetível) sobre a infestação de *D. saccharalis* e sobre o parasitismo de *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891) (Hymenoptera: Braconidae). O experimento foi conduzido em casa de vegetação, sendo os tratamentos: T1) SP801842 sem aplicação de silício; T2) SP801842 com aplicação de silício na dosagem correspondente a 4 t SiO₂/ha; T3) RB72454 sem aplicação de silício e T4) RB72454 com aplicação de silício na dosagem correspondente a 4 t SiO₂/ha. O silício foi aplicado em duas dosagens, sobre o solo, aos 120 e aos 125 dias após a brotação. Sessenta dias após a última aplicação, foram liberados 10 adultos de *D. saccharalis* por vaso, colocados em gaiola coberta com tecido tipo *voil*. Adotou-se o DIC, com 4 tratamentos e 10 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Observou-se que houve diferença significativa para massa fresca e seca de parte aérea e sistema radicular, teor de clorofila e silício, além do número de orifícios no colmo. Foi observada maior massa fresca de parte aérea para a cultivar suscetível tratada com silício e seca, para as duas cultivares com silício. Com relação à clorofila, as cultivares que receberam silício apresentaram os maiores teores. Já o teor de silício foi aumentado na cultivar suscetível, sendo significativamente igual ao da cultivar com moderada resistência. O maior número de orifícios foi encontrado na cultivar suscetível sem silício. O número de orifícios na cultivar suscetível com silício foi intermediário e semelhante ao da cultivar com moderada resistência. Em razão da baixa infestação da broca e do parasitoide, os resultados foram insuficientes para correlacionar o teor de silício com a praga e o parasitoide. Conclui-se que a aplicação de silício aumenta a massa seca de parte aérea, porém, reduz a massa seca de raiz de cana-de-açúcar; aumenta o teor de clorofila e de silício, porém, não altera o teor de lignina. Induz a resistência da cana-de-açúcar a *D. saccharalis* pela formação de uma barreira que reduz a penetração de lagartas no colmo e favorece o acúmulo de cristais que cobrem parcialmente os estômatos das folhas, além do espessamento da cutícula. Não foi possível avaliar o efeito do silício no parasitismo de *C. flavipes*.

Palavras-chave: Broca-da-cana. Resistência induzida. MIP. Parasitoide. Insecta.

ABSTRACT

The damage caused by the larvae (*Diatraea saccharalis*) (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) in the sugar cane crop is significant, mainly due to microorganism penetrations into the feed holes of the caterpillar in the stalk causing decrease in sugar and alcohol production. Among the integrated pest management (IPM) tactics, induction of host plant resistance is a control option where the silicon is a factor which can increase the resistance degree against insect pests. This study aimed to evaluate the effect of silicon (Si) in vegetative development of the sugar cane varieties RB72454 (moderate resistance) as well as SP801842 (susceptible) on the infestation of *D. saccharalis* and on parasitism of *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891) (Hymenoptera: Braconidae). The experiment was conducted in greenhouse, with the treatments: T1) SP801842 free of silicon; T2) SP801842 with silicon application (4 t SiO₂/ha); T3) RB72454 free of silicon; and T4) RB72454 with silicon application (4 t SiO₂/ha). The silicon was applied in two dosages on soil at 120 and 125 days after sprouting. Sixty days after last application 10 adults of *D. saccharalis* were released per pot and placed in cages covered with voile fabric. Experiments were arranged in a complete randomized design with 4 treatments and 10 replicates. Data were subjected to analysis of variance and means compared by Tukey's multiple range test ($p \leq 0.05$). A significant difference in shoot/root dry/fresh weight, chlorophyll and silicon contents, as well as the number of stem holes were observed. For treatments with silicon, susceptible variety showed higher shoot fresh weight while both varieties showed higher shoot dry weight. Regarding to chlorophyll content, cultivars that received silicon showed the highest levels. The silicon content was increased in the susceptible variety which was significantly equal for moderate resistance variety. The most number of holes was found in susceptible variety without silicon. The number of holes in the susceptible variety with silicon was intermediate and similar to the variety with moderate resistance. Due to the low infestation of borer and parasitoid, the results were insufficient to correlate with silicon content of the pest and parasitoid. We conclude that the application of silicon increases shoot dry mass, however, decreases root dry weight of sugar cane, increases chlorophyll and silicon contents, however, does not alter lignin content in varieties studied. Besides, it induces resistance in sugar cane to *D. saccharalis* by forming a barrier that reduces the penetration of larvae on young stems and favors the accumulation of crystals that partially cover the stomata of the plant leaves and a thicker cuticle. It was not possible to assess the effect of silicon on the parasitism of *C. flavipes*.

Keywords: Sugar cane borer. Induced resistance. IPM. Sugar cane. Insecta.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de silício pode proporcionar às culturas melhores condições para suportar adversidades biológicas, climáticas e edáficas, além de estar relacionada com interações entre vários elementos que favorecem a nutrição da planta, provocando efeitos benéficos, como aumento e maior qualidade na produção e redução a suscetibilidade das plantas a doenças e ao ataque de determinadas pragas (LIMA FILHO; LIMA; TSAI, 1999).

A cana-de-açúcar responde bem à adubação silicatada, por ser uma cultura acumuladora de silício, como é o caso da maioria das Poaceae que concentram em seus tecidos altos teores desse elemento, aumentando o comprimento e o diâmetro dos colmos, e o número de perfilhos, o que leva ao aumento da produtividade.

As maiores respostas em relação à produtividade da cana-de-açúcar são obtidas no primeiro ano, pela maior absorção de silício devido à aplicação de silicatos de cálcio na forma de escórias de siderurgias ou outras fontes (ANDERSON, 1991; RAID; ANDERSON; ULLOA, 1992).

Existem várias fontes de silício, portanto, há a necessidade de investigar e identificar as fontes mais promissoras que apresentam silício disponível ou potencialmente disponível para as plantas, além de levantamentos nutricionais, principalmente de regiões arroyeiras e canavieiras, caracterização das cultivares das diversas espécies quanto ao tipo de absorção, interações nutricionais e a inclusão do silício nas formulações das soluções nutritivas, especialmente em ensaios de tolerância a estresses nutricionais (LIMA FILHO; LIMA; TSAI, 1999). Ainda segundo esses autores, a tecnologia baseada no uso do silício é limpa e sustentável, promovendo um maior retorno econômico para o agricultor, diminuindo o uso de agroquímicos e aumentando a produtividade por meio de uma nutrição mais equilibrada e fisiologicamente mais eficiente, o que significa

plantas mais produtivas e vigorosas, com menos ocorrência de doenças e infestação de pragas.

Por outro lado, na cana-de-açúcar, o dano provocado pela lagarta *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794) (Lepidoptera: Crambidae) pode ser direto, por meio da abertura de galerias no interior do colmo da planta, com conseqüente redução do fluxo de seiva, além de tornar a planta mais suscetível ao tombamento pela ação do vento e chuvas, ou pode ser indireto, quando os orifícios favorecem a penetração de microrganismos fitopatogênicos (BORTOLI et al., 2005).

O controle das lagartas desse lepidóptero-praga torna-se difícil quando estas já estão no interior do colmo e, devido a tal dificuldade, passou-se a dar maior ênfase a trabalhos que busquem obter medidas alternativas, dentre elas o biológico e a resistência de plantas ao inseto (LARA, 1991). A aplicação de silício pode induzir resistência a insetos, principalmente em Poaceae, formando uma barreira mecânica que dificulta a alimentação do inseto que, em lagartas, pode desgastar a região incisora das mandíbulas (GOUSSAIN et al., 2002).

A resistência propiciada pelo Si também pode ser indireta, aumentando a atratividade das plantas tratadas com esse elemento aos inimigos naturais, como ocorreu em pepino, quando a atração do predador *Dicranolaius bellulus* (Guérin-Meneville) (Coleoptera: Melyridae), inimigo natural de *Helicoverpa armigera* (Hübner), foi aumentada, o que pode incrementar o controle biológico a campo (KVEDARAS et al., 2010).

Considerando que *E. saccharina* é o inseto-praga mais destrutivo da cana-de-açúcar na África do Sul e é da mesma família da *D. saccharalis*, possivelmente, a aplicação de silício a campo poderia também proporcionar os mesmos benefícios observados nessas pesquisas para os canaviais do Brasil.

Neste sentido, este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação de silício (Si) no desenvolvimento vegetativo das cultivares de cana-de-açúcar RB72454 (moderada resistência) e SP801842 (suscetível) e sobre a infestação de *D. saccharalis* e do parasitismo de *C. flavipes*.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância da cana-de-açúcar

A espécie *Saccharum* spp. (Linnaeus, 1753) pertence à família *Gramineae* (Poaceae) e, provavelmente, é originária da região da Nova Guiné, Índia e China. Por sua importância econômica, social e ambiental, a cana-de-açúcar tem ocupado lugar de destaque, sendo cultivada comercialmente em mais de 70 países e territórios entre os paralelos 35° N e 35° S, com ampla faixa de adaptação (LUCCHESI, 2001).

Atualmente, o Brasil é o maior país produtor de cana-de-açúcar, seguido pela Índia. A área plantada no país é de 9,1 milhões de hectares, produzindo mais de 650 milhões de toneladas de cana por ano, sendo São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Paraná os principais estados produtores (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2012).

Em decorrência das melhorias na produção e da instalação de usinas do setor sucroalcooleiro, vários estados brasileiros aumentaram suas áreas de plantio de cana-de-açúcar. Houve um crescimento em área de 171,7 mil hectares, ou 2,1%, em relação à safra passada (2010/2011). A região sudeste é a que contribui com o maior percentual, 96,6% do total das novas áreas de cana-de-açúcar. No centro-oeste também houve crescimento significativo. Entretanto, em muitos estados, por falta de umidade no solo e pela necessidade da utilização da irrigação no momento do plantio, o custo da lavoura foi maior (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2012).

Em Minas Gerais existem 36 usinas em produção e 52 unidades de produção, prevendo-se investimentos da ordem de US\$ 3 bilhões no período. Estima-se que, na safra 2012/2013, serão processados 84 milhões de toneladas de cana e também a produção de 4,2 bilhões de litros de álcool e de 4,6 milhões de toneladas de açúcar. Nos próximos quatro anos, devem ser gerados cerca de 40 mil empregos no setor, em Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2013).

O crescimento nacional do setor sucroalcooleiro deve-se ao programa apresentado pelo governo federal, que reúne ações estratégicas para promover a redução no uso de combustíveis fósseis e, ao mesmo tempo, ampliar a produção e o consumo de biocombustíveis. O Plano Nacional de Agroenergia (2006-2011) foi elaborado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), e focaliza, ainda, a proteção do meio ambiente, o mercado internacional e a inclusão social.

O crescimento do setor, nos próximos anos, será intenso, portanto, deve-se atentar para a criação de novas tecnologias, de forma a proporcionar um manejo cada vez mais sustentável e com alta produtividade, além de diminuir a ação das pragas e, conseqüentemente, dos organismos oportunistas que limitam a produção da cultura.

2.2 *Diatraea saccharalis* como praga em cana-de-açúcar

A espécie *D. saccharalis*, originária, provavelmente, da América Central e do Sul, é encontrada em todo o Brasil infestando várias Poaceae. Tal inseto-praga é considerado o de maior importância na cultura da cana-de-açúcar nas Américas, devido aos danos ocasionados às plantas (ALMEIDA; STINGEL, 2005).

Os danos diretos são provocados pela abertura de galerias nos colmos devido à alimentação das lagartas. Alguns exemplos dos danos diretos são: coração morto, destruição das gemas, redução de massa, falhas na germinação

resultantes de mudas infestadas, enraizamento aéreo, brotações laterais e em regiões em que ocorrem ventos moderados a fortes pode ocorrer a quebra dos colmos. Os orifícios realizados pelas lagartas, ao entrarem no colmo, favorecem a penetração de fungos patogênicos dos gêneros *Colletotrichum* e *Fusarium*, que causam a chamada podridão vermelha. Esses microrganismos provocam a inversão da sacarose, produzindo queda no rendimento industrial da cana-de-açúcar (GALLO et al., 2002).

O ciclo de vida da broca-da-cana é de 53 a 60 dias e, dependendo das condições climáticas, de quatro a cinco gerações no ano. Na última geração do ano, há um alongamento do ciclo e a lagarta fica no interior do colmo por cinco ou seis meses (GALLO et al., 2002).

No canavial, o ciclo começa quando os ovos são colocados pelas mariposas. A oviposição pode ocorrer tanto na parte inferior ou superior das folhas. A postura contém de 5 a 50 ovos, de característica imbricada e a eclosão ocorre entre quatro e nove dias. As lagartas, inicialmente, alimentam-se do parênquima foliar e, após a primeira ou a segunda ecdise, as mesmas caminham em direção à região próxima ao colmo da planta, na bainha, para perfurá-lo e se alimentarem da polpa carnuda e doce da cana-de-açúcar. Após perfurar o colmo, as lagartas, ao se alimentarem, deixarão galerias produzidas, na maioria das vezes, de baixo para cima. As galerias formadas podem ser longitudinais, os casos mais comuns, e transversais. Dentro da planta, as lagartas sofrem várias ecdises, até atingirem cerca de 2,2 a 2,5 cm. O número de ecdises é bastante variável, sendo normal ocorrer de cinco a seis, em um tempo médio de 40 dias. As lagartas, que apresentam nesta fase coloração amarelo-pálida e cabeça marrom, fazem um orifício para o exterior da planta e o vedam com mistura de serragem e fios de seda. As lagartas, então, se transformam em pupas e, após nove a catorze dias, emergem os adultos, que saem pelo mesmo orifício feito anteriormente pelas lagartas. Os adultos têm hábito noturno, permanecendo

escondidos durante o dia e, ao final da tarde, começam a ovipositar (CRUZ, 2007; GALLO et al., 2002).

O controle das lagartas desse lepidóptero-praga torna-se difícil, uma vez que, na maior parte desta fase, os insetos se encontram no interior do colmo.

2.3 Silício como indutor de resistência

2.3.1 Na planta

O silício (Si) é o segundo maior elemento em abundância na crosta terrestre, perdendo apenas para o oxigênio (EPSTEIN, 1999). Este elemento é encontrado somente em formas combinadas, como a sílica e os minerais silicatados. Cerca de 80% dos minerais das rochas ígneas e metamórficas são silicatos, sendo o quartzo e o feldspato alcalino os minerais silicatados mais comuns (JACKSON, 1964).

O ácido monossilícico [(H_4SiO_4) , ou $\text{Si}(\text{OH})_4$], também denominado de ácido ortossilícico ou simplesmente ácido silícico, ocorre na solução do solo, nas águas doces e nos oceanos de todo o mundo. A principal fonte natural de silício no solo é o feldspato que, ao sofrer o processo de intemperização, resulta em argilas (caulinita e montmorilonita) e libera o ácido silícico, em grande parte na forma não dissociada, que é a principal forma de absorção do silício pelas plantas (EXLEY, 1998).

Existem várias fontes de ácido silícico, como as decomposições de resíduos vegetais, as liberações pelos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e a adição de fertilizantes silicatados (SAVANT; SNYDER; DATNOFF, 1996). Já os principais drenos são as precipitações do silício em solução, formando minerais, a lixiviação e a absorção pelas plantas (LIMA FILHO; LIMA; TSAI, 1999).

A absorção de Si da solução do solo pelas raízes da planta ocorre de forma passiva, na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4). É transportado pelo

xilema das plantas e depositado nas paredes das células, principalmente nas folhas (JONES; HANDRECK, 1967). Contudo, a deposição de silício também pode ocorrer no lúmen celular e nos espaços intercelulares dos tecidos das raízes ou na camada extracelular da cutícula (SANGSTER; HODSON; PARRY, 1982).

Esse elemento químico encontra-se envolvido em funções físicas de regulação da evapotranspiração, sendo também capaz de formar uma barreira de resistência mecânica à invasão de fungos para o interior da planta e de dificultar a ação de insetos sugadores e herbívoros (EPSTEIN, 1999).

O conteúdo de silício nas plantas varia de 0,1% a 10% em base seca, concentrando-se nos tecidos de suporte do caule e das folhas, mas pode ser encontrado também em pequenas quantidades nos grãos. Sendo assim, as plantas podem ser classificadas como acumuladoras, intermediárias e não acumuladoras de Si, e serem avaliadas de acordo com a relação molar Si:Ca encontrada nos tecidos. Nas relações acima de 1,0, as plantas são consideradas acumuladoras; entre 1,0 e 0,5, são consideradas intermediárias e, menor do que 0,5, não acumuladoras (MA; MIYAKI; TAKAHASHI, 2001).

Nas plantas acumuladoras, com teor bastante elevado de Si, a absorção está ligada à respiração aeróbia, sendo representantes desse grupo arroz, cana-de-açúcar, trigo, sorgo e outras Poaceae em geral. Plantas intermediárias, como as cucurbitáceas e a soja, apresentam quantidade considerável de Si translocado livremente das raízes para a parte aérea, quando a concentração do elemento já é alta no solo. Já as plantas não acumuladoras são caracterizadas por um baixo teor de silício, mesmo com altos níveis desse elemento no solo, existindo um provável mecanismo de exclusão. O morangueiro, o tomateiro, o cafeeiro e as dicotiledôneas em geral são plantas que representam esse grupo (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2004).

2.3.2 A insetos-praga

O efeito da proteção mecânica do silício nas plantas é atribuído ao seu depósito na forma de sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) na parede celular. O acúmulo de sílica nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma camada dupla de sílica cuticular que, pela diminuição da transpiração, faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2004). A silificação da epiderme impede a penetração e a mastigação pelos insetos, devido ao endurecimento da parede das células vegetais (DATNOFF; SNYDER; KORNDÖRFER, 2001).

Resultados de pesquisas têm sugerido que a aplicação de silício pode aumentar o grau de resistência de plantas aos insetos-praga (GOMES; MORAES; NERI, 2009; KEEPING; MEYER, 2006; KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2002; KVEDARAS; KEEPING, 2007) e a doenças (GUÉVEL; MENZIES; BÉLANGER, 2007; SANTOS; CAMARGO; AMORIM, 2010; SANTOS et al., 2009), além do aumento de produtividade (LAING; GATARAYIHA; ADANDONON, 2006; MATICHENKOV; CALVERT, 2002; WANGEN, 2007).

O maior teor de sílica em Poaceae pode resultar no aumento da abrasividade das folhas e atuar como deterrente alimentar, além de reduzir a taxa de desenvolvimento e a eficiência de digestão de lagartas de *Spodoptera exempta* (Lepidoptera: Noctuidae), ocasionando baixo peso de pupas (MASSEY; ENNOS; HARTLEY, 2006). No entanto, Korndörfer, Cherry e Nagata (2004) verificaram que a aplicação de silicato de cálcio em Poaceae não afetou a alimentação e o desenvolvimento da lagarta *Herpetogramma phaeopteralis* Guenée (Lepidoptera: Crambidae).

A lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), ao se alimentar de folhas de plantas de milho adubadas com Si, apresentou acentuado desgaste na região incisora das

mandíbulas, provavelmente devido à dificuldade de alimentação, ocasionando aumento de mortalidade e canibalismo (GOUSSAIN et al., 2002).

Já o pulgão *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae), ao se alimentar de plantas de trigo adubadas com silicato, apresentou menor longevidade e fecundidade, além de reduzida excreção de *honeydew*, o que pode indicar menor taxa de ingestão (BASAGLI et al., 2003; COSTA; MORAES; COSTA, 2011; GOUSSAIN; PRADO; MORAES, 2005). Por outro lado, mecanismo de não preferência aos pulgões *S. graminum* e *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (Hemiptera: Aphididae) foi observado em plantas de sorgo e de milho tratadas com silício (CARVALHO; MORAES; CARVALHO, 1999; MORAES et al., 2005).

Em batateira, o silício pode diminuir a colonização das plantas por *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) (GOMES; MORAES; ASSIS, 2008) e reduzir a sua taxa de crescimento populacional (GOMES et al., 2008). Em *Pinus taeda* L., a aplicação de silício induziu resistência ao pulgão *Cinara atlantica* (Wilson) (Hemiptera: Aphididae), ao prolongar a fase ninfal e reduzir a sua fecundidade (CAMARGO et al., 2008a, 2008b).

Para a cigarrinha das raízes *Mahanarva fimbriolata* Stål (Hemiptera: Cercopidae), em cana-de-açúcar, duas aplicações foliares de silicato de potássio apresentaram eficiência de controle semelhante à dos tratamentos químicos e biológicos (WANGEN, 2007).

Para o controle de *D. Saccharalis*, a indução de resistência de plantas, constitutiva ou induzida, pode ser uma alternativa viável (LARA, 1991).

A broca *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) é a principal praga da cana-de-açúcar na África do Sul. Naquele país, pesquisadores têm estudado a importância e os benefícios do Si como promotor de resistência a esse lepidóptero em cana-de-açúcar. Tratamentos com diferentes fontes de silício tornam os colmos da cana-de-açúcar mais resistentes à penetração das

lagartas de *E. saccharina*, reduzindo as infestações e os danos causados à cultura (KVEDARAS et al., 2005; MEYER; KEEPING, 2005).

A tecnologia baseada no uso do silício é limpa e sustentável, promovendo maior retorno econômico para o agricultor ao diminuir o uso de agroquímicos e aumentar a produtividade por meio de uma nutrição mais equilibrada e fisiologicamente mais eficiente, o que significa plantas mais produtivas, com menos doenças, menos ataques de pragas e mais vigor (LIMA FILHO; LIMA; TSAI, 1999).

2.4 Atuação de *Cotesia flavipes* em agroecossistemas canavieiros

A cana-de-açúcar é uma cultura rústica, mas se defronta com problemas agrônômicos diversos, incluindo a incidência de pragas, principalmente a broca *D. saccharalis* (BOIÇA JÚNIOR; LARA; BELLODI, 1997), considerada a mais importante nas Américas.

Dentre os métodos de controle mais estudados para esta praga encontra-se o biológico, que é realizado, principalmente, pela vespinha *C. flavipes*, um micro-himenóptero de lagartas da broca.

A fêmea adulta da vespinha oviposita no interior da lagarta de *D. saccharalis*. Posteriormente, as larvas da vespinha eclodem, se alimentam e se desenvolvem dentro do corpo da praga. Após 12 a 13 dias, a lagarta de *D. saccharalis* morre e surgem casulos, de onde emergirão novos adultos de *C. flavipes*. Atualmente, a utilização de *C. flavipes* em programas de controle biológico em cana-de-açúcar é muito difundida, sendo um dos inimigos naturais mais utilizados no controle biológico (BOIÇA JÚNIOR; LARA; BELLODI, 2002).

Para minimizar os prejuízos causados pela *D. saccharalis* foi iniciado, em 1973, um programa de controle desta praga no Brasil, pelo Instituto do Açúcar e do Alcool/Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar

(IAA/PLANALSUCAR), tendo por objetivos, a princípio, conhecer seus hábitos, sua biologia e seus inimigos naturais (BOTELHO; MACEDO, 2002).

A introdução do parasitoide *C. flavipes* dinamizou o controle biológico da broca da cana-de-açúcar no Brasil e a rápida adaptação desse parasitoide nas diferentes regiões canavieiras do país, bem como o desenvolvimento de uma fácil tecnologia para a sua produção em larga escala, possibilitando a montagem de laboratórios em unidades industriais e associações de plantadores de cana, em vários estados produtores de açúcar (MENDONÇA, 1996). A partir deste momento, o controle biológico da broca por meio da utilização dos seus inimigos naturais tornou-se uma prática bastante difundida e utilizada nas usinas de cana-de-açúcar do Brasil (ARAÚJO, 1987).

2.5 Interação planta, silício e controle biológico

A associação de diferentes táticas de controle de insetos-praga é um dos princípios básicos do manejo integrado de pragas (MIP) e a suplementação das culturas com Si pode ser integrada com outras práticas, incluindo o controle biológico (LAING; GATARAYIHA; ADANDONON, 2006).

Apesar de várias pesquisas relacionarem os efeitos diretos do silício na indução de defesa de plantas contra patógenos e insetos-pragas, poucos trabalhos têm sido realizados com o objetivo de estudar o papel desse nutriente nas interações tritróficas, planta, inseto-praga e inimigo natural (KVEDARAS et al., 2010).

Em trigo, a aplicação de Si aumentou o grau de resistência das plantas pela redução da preferência do pulgão verde *S. graminum*. Contudo, não houve efeito indireto da aplicação de silício nas características biológicas do predador *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) e do parasitoide *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae) alimentados e/ou parasitados com os pulgões criados nessas plantas, sugerindo interação positiva

entre resistência do tipo não preferência e o controle biológico (MORAES et al., 2004).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em câmara climatizada do Laboratório de Resistência de Plantas a Insetos e em casa de vegetação, no Departamento de Entomologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), nos períodos de março a outubro de 2010 e de março a novembro de 2011.

3.1 Criação de *D. saccharalis*

A criação de *D. saccharalis* foi iniciada com ovos fornecidos pela Usina Santa Adélia S/A (Jaboticabal, SP) e pela empresa Biocontrol (Sertãozinho, SP). Após a eclosão, as lagartas permaneceram em BOD com 25 ± 2 °C, umidade relativa de $70\pm 10\%$ e fotofase de 12 horas.

Para a alimentação das lagartas, utilizou-se uma dieta composta basicamente por farelo de soja, levedura de cana e açúcar (KING; HARTLEY, 1985). Essa dieta foi colocada diretamente em potes de vidro de 500 ml com tampas de tela de metal esterilizadas em estufa.

As pupas, logo após a sua formação, foram retiradas e transferidas para gaiolas de PVC de 20 cm de altura e 15 cm de diâmetro, revestidas internamente com papel filtro, com a parte inferior apoiada em bandejas plásticas de 25 cm de diâmetro forradas com o mesmo papel, sendo a parte superior vedada com filme PVC laminado. Não foram fornecidos água ou alimento aos adultos que, após mortos, eram retirados das gaiolas. Diariamente, os papéis que forravam as gaiolas com as posturas eram retirados, lavados e tratados. O tratamento constava de tríplice lavagem em bandeja com formaldeído 0,2 %, em seguida em

água destilada e, por último, em solução de sulfato de cobre (1,0%), todos por cerca de dois minutos.

Já limpos, os papéis eram estendidos em varais de barbante, entendidos dentro do laboratório, para a secagem. Os papéis secos eram recortados nos locais com massas de ovos e colocados nos potes com dieta. As lagartas eclodiam diretamente sobre a dieta e se alimentavam até se transformarem em pupas.

A criação estabelecida foi conduzida para a obtenção de indivíduos que foram utilizados no experimento.

3.2 Plantio da cana-de-açúcar

Os minitoletes utilizados no plantio, contendo um nó (uma gema) mais metade do entrenó inferior e metade do superior, foram obtidos do terço médio de colmos adultos das cultivares RB72454 (moderada resistência) e SP801842 (suscetível), fornecidas pelo Departamento de Agricultura da UFLA (Lavras, MG), pela Usina Itaiquara (Passos, MG) e pela cachaçaria João Mendes (Perdões, MG).

Foram utilizados vasos de polietileno com capacidade para 5 kg de solo, preenchidos com terra de barranco (Latossolo Vermelho-Escuro), adubados com 3,83 g da fórmula 4-14-8. Para cada cultivar de cana foram plantados 20 vasos, colocando-se seis minitoletes por vaso, cobertos com uma camada de 5 cm de solo. Após o desbaste, realizado aos 20 dias após a emergência, foram deixadas duas plantas por vaso. Os vasos foram colocados sobre bancadas em casa de vegetação no Departamento de Entomologia da UFLA e irrigadas, de modo a suprir suas necessidades hídricas.

3.3 Aplicação de silício

Foram realizadas duas aplicações (500 mL) de solução de ácido silícico a 1%, por vaso de 5kg. A soma das duas aplicações correspondeu a uma concentração equivalente a 4 t de SiO₂/ha. A solução foi aplicada no solo, ao redor das plantas, aos 120 e aos 125 dias após a emergência, enquanto os vasos da testemunha receberam 500 mL de água, em cada aplicação.

3.4 Influência do silício na resistência à *D. saccharalis* e no desenvolvimento vegetativo de cultivares de *Saccharum* spp.

3.4.1 Infestação artificial das plantas com *D. saccharalis*

Em casa de vegetação regulada à temperatura máxima de 30 °C, foram liberadas, com o auxílio de um pincel, 20 lagartas/planta, com idade até 48 horas, 185 dias após a emergência da cana-de-açúcar

3.4.2 Tratamentos

Foram utilizados quatro tratamentos: T1) SP801842 sem aplicação de silício; T2) SP801842 com aplicação de silício; T3) RB72454 sem aplicação de silício e T4) RB72454 com aplicação de silício. Para cada tratamento foram utilizadas dez repetições, exceto para teores de silício e lignina, quando se utilizaram seis repetições.

3.4.3 Determinação do teor de clorofila

Após 60 dias da liberação das lagartas, foi determinado o teor de clorofila nas folhas. Foi escolhida a terceira folha totalmente formada de cada planta, entre as 8 e as 10 horas da manhã, que foram submetidas ao medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Minolta Camera Co. Ltd.).

3.4.4 Avaliação do sintoma de ‘coração morto’, de lagartas e pupas de *D. saccharalis* e de massa fresca e seca das plantas

Após a determinação do teor de clorofila, as plantas de cada vaso foram cortadas rente ao solo, separando-se a parte aérea das raízes, que foram lavadas. A parte aérea das plantas foi dissecada e determinada, visualmente, a presença de ‘coração morto’, de lagartas e de pupas.

Posteriormente, o material foi acondicionado em saco de papel, transferido para estufa, a 60 °C, para secagem, até obter peso constante. Após a secagem, o material foi pesado e determinada a massa seca média das partes aéreas e das raízes.

3.4.5 Determinação do teor de silício

Para a determinação do teor de silício, uma das plantas de cada vaso foi seca em estufa e triturada em moinho do tipo Willey, para a formação de um pó fino que foi enviado ao Laboratório de Fertilizantes (LAFER) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), para análise do teor desse elemento.

3.5 Influência de cultivares de cana-de-açúcar, aplicação de silício e parasitismo por *C. flavipes* no controle de *D. saccharalis*

3.5.1 Infestação das plantas com *D. saccharalis* e *C. flavipes*

Aos 185 dias após a emergência das brotações, foram liberados 20 adultos/gaiola de *D. saccharalis*, oriundos da criação de manutenção, com idade máxima de 24 horas.

As gaiolas foram confeccionadas de tecido *voil*, com 40 cm de diâmetro e 100 cm de altura. Esse tecido foi colocado no vaso sustentado por três hastes de ferro de ¼ de polegada, fixas no solo e com a base do tecido presa ao fundo do vaso por elástico.

A liberação do parasitoide *C. flavipes* foi realizada após 25 dias da liberação de *D. saccharalis*, num total de 5 fêmeas (antenas longas) e 5 machos (antenas curtas) por vaso.

3.5.2 Avaliação da intensidade de infestação de *D. saccharalis* e do parasitismo de *D. saccharalis* por *C. flavipes*

Aos 35 dias da liberação de adultos de *C. flavipes* foi realizada a avaliação da intensidade de infestação e de parasitismo. As plantas de cada vaso foram cortadas e os colmos foram dissecados, sendo observados: número de orifícios, número de galerias, intensidade de infestação, número de lagartas e de pupas de *D. saccharalis* e número de massa de pupas de *C. flavipes*. A intensidade de infestação (I.I.) foi calculada pela fórmula: $I. I. = (\text{número de internódios broqueados} / \text{número de internódios total}) / 100$.

3.5.3 Determinação dos teores de silício e de lignina

As plantas foram secas em estufa, a 60 °C, triturada em moinho do tipo Willey, para a formação de um pó, que foi enviado ao Laboratório de Fertilizantes (LAFER) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), para a determinação do teor de silício.

Para a determinação do teor de lignina, parte desse material foi enviada ao Laboratório de Bioquímica no Departamento de Ciências dos Alimentos da UFLA.

3.5.4 Observações microscópicas do acúmulo do silício em folhas cana-de-açúcar

Os preparos e as análises das amostras do material vegetal foram realizados no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural (LME), no Departamento de Fitopatologia da UFLA.

Foram utilizadas as terceiras folhas completas de plantas de cana-de-açúcar seccionadas e imersas em *ependorfs* com solução fixativa Karnovsky, por 24 horas. Logo após a fixação, as secções foram transferidas para o líquido crio-protetor (glicerol 30%) glicerol e foram mantidas por 30 minutos. Em seguida, as amostras foram congeladas em nitrogênio líquido e fragmentadas com bisturi, em uma superfície metálica resfriada. Os fragmentos foram colocados em placas de Petri contendo água destilada e, depois, em papel toalha para secar.

Após todo o procedimento descrito, os fragmentos foram fixados com fitas de carbono dupla face em porta-espécime “stub” (disco metálico de latão de 12-13 mm (1/2 polegada) de diâmetro) envolvido com papel alumínio. Alguns fragmentos foram fixados com a face inferior do limbo voltada para cima e outros, para baixo.

Os “stubs” contendo os espécimes foram acondicionados em dessecador contendo sílica gel.

Passados três dias, as amostras montadas em “stubs” foram levadas para o evaporador SCD 050 da Balzers, no qual sofreram processo de metalização (cobertura da amostra com ouro). A análise das amostras foi feita em microscópio eletrônico de varredura LEO Evo 40XVP. Diversas imagens foram geradas e registradas digitalmente a aumentos variáveis. Utilizou-se o software Photopaint do pacote Corel Draw 12 para o preparo das imagens para serem apresentadas neste trabalho.

3.6 Estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente ao acaso, com quatro tratamentos: T1) SP801842 sem aplicação de silício; T2) SP801842 com aplicação de silício; T3) RB72454 sem aplicação de silício e T4) RB72454 com

aplicação de silício, e dez repetições, exceto para teores de silício e lignina, quando se trabalhou com seis repetições.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando-se o programa estatístico (SAEG) (RIBEIRO JÚNIOR, 2001).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Influência do silício no desenvolvimento vegetativo de cultivares de *Saccharum spp.* e na indução de resistência à *D. saccharalis*

Verificou-se (Tabela 1) que a massa fresca da parte aérea foi maior na cultivar suscetível à broca (SP801842) tratada com silício, enquanto a mesma cultivar, sem a adição do nutriente, apresentou massa vegetal menor, sendo estatisticamente igual à cultivar de moderada resistência à broca (RB72454) sem o silício e com aplicação de silício.

Para a massa seca da parte aérea, os maiores valores foram observados nas duas cultivares que receberam aplicação de silício, sendo a suscetível com maior massa, quando comparada com a de moderada resistência, diferindo entre si, estatisticamente (Tabela 1). Os tratamentos sem aplicação de silício não apresentaram diferença significativa, com valores de 18,2 g e 15,4 g, para cultivares de moderada resistência e suscetível, respectivamente.

Já para a massa fresca de raiz (Tabela 1), os tratamentos sem aplicação de silício apresentaram os maiores valores, tanto para a cultivar RB72454 como para a SP801842, porém, estatisticamente iguais. O mesmo foi observado em relação à massa seca de raiz, permanecendo os tratamentos sem aplicação de silício com massa maior que aqueles que receberam a aplicação. Os valores encontrados foram de 84,9 g, para a cultivar de moderada resistência e de apenas 37,4 g, quando tratada com silício. Também a massa seca de raiz para a cultivar

suscetível reduziu drasticamente de 72,4 g para 28,8 g, com a aplicação de silício.

Tabela 1 Massa fresca (g) e seca (g) da parte aérea e raiz (média±erro padrão) de plantas de duas cultivares de cana-de-açúcar, com moderada resistência (MR) e suscetível (S), com e sem aplicação de silício (Si).

Tratamento	Parte aérea		Raiz	
	Massa fresca (g)	Massa seca (g)	Massa fresca (g)	Massa seca (g)
RB72454 (MR)	83,1±3,53 b	18,2±0,76 c	319,5±19,07 a	84,9±10,34 a
RB72454 (MR) + Si	85,7±5,73 b	37,9±2,07 b	196,5±15,65 b	37,4±5,69 b
SP801842 (S)	66,1±5,75 b	15,4±1,27 c	345,5±35,29 a	72,4±13,05 a
SP801842 (S) + Si	126,4±9,28 a	45,9±2,78 a	158,5±4,47 b	28,8±1,84 b
CV (%)	22,48	20,35	27,37	49,11

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

De acordo com os resultados de algumas pesquisas, o silício pode aumentar a massa seca foliar e a massa seca e fresca de raiz (BARBOSA FILHO et al., 2000; CARVALHO FILHO et al., 2007; KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2002, 2004), além de ser acumulado nos tecidos de suporte e sustentação do caule, fortalecendo a estrutura da planta (PLUCKNETT, 1971). Portanto, os resultados obtidos neste estudo assemelham-se, em parte com os

desses pesquisadores, uma vez que o peso de raiz da cana-de-açúcar foi reduzido com a aplicação de silício.

A cultivar suscetível respondeu positivamente à aplicação de silício, apresentando maior massa fresca e seca de parte aérea, enquanto a cultivar de moderada resistência foi beneficiada com a aplicação de silício em relação à massa seca. Esses resultados corroboram os de Souza et al. (2009) que, ao avaliarem a massa seca de parte aérea de *Brachiaria brizantha*, observaram que a aplicação de silicato de cálcio no plantio aumentou a massa seca da planta de forma crescente com o aumento da quantidade de silicato de cálcio aplicado. Resultados semelhantes foram encontrados por Vilela, Andrade e Vilela (2007), porém, em capim-elefante.

Contudo, as massas fresca e seca de raízes foram menores nos tratamentos com silício para as duas cultivares, sendo esses resultados semelhantes aos obtidos por Ribeiro et al. (2011) em cafeeiro, nos quais a fertilização silicatada restringiu o acúmulo de matéria seca radicular.

Na cultura do arroz, doses acima de $0,38 \text{ g dm}^{-3}$ de silício diminuíram o sistema radicular das plantas, possivelmente devido à fitotoxidez (FARIA JÚNIOR et al., 2009), o que pode ser uma das possíveis explicações para os resultados observados neste estudo. Em outras pesquisas com arroz, a aplicação de silício não alterou a produção de matéria seca de raiz (ÁVILA et al., 2010; GOMES et al., 2011), ou seja, não se pode afirmar se o silício afeta ou não o desenvolvimento radicular das plantas e quais seriam as causas dessa redução.

Nota-se que houve diferença significativa para o teor de clorofila, o qual foi maior nas plantas das duas cultivares tratadas com silício (Tabela 2). O silício pode estimular as plantas a concentrar clorofila nas folhas, como já observado em tomateiro (EMRICH et al., 2011) e em arroz (ÁVILA et al., 2010), o que pode validar os resultados obtidos neste estudo. Isso ocorre em razão de o silício estar associado à manutenção da fotossíntese, à proteção da

distribuição de clorofila e à preservação da deterioração estrutural e funcional das membranas celulares (AGARIE; AGATA; KAUFMAN, 1998).

Já com relação ao teor de silício na parte aérea das plantas, apenas a cultivar suscetível SP801842 apresentou resposta positiva à aplicação de silício, diferença maior que 40% no teor desse nutriente em relação ao material não tratado (Tabela 2). Como o teor de silício na cultivar suscetível tratada (0,68%) foi significativamente igual ao da cultivar de moderada resistência não tratada (0,66%), pode-se sugerir que a concentração desse elemento é um dos componentes envolvidos na resistência desse cultivar a *D. saccharalis*. Em plantas de arroz tratadas com silício foram observados incrementos lineares à dose aplicada no acúmulo desse elemento no tecido vegetal (FARIA JÚNIOR et al., 2009; RAMOS ; KORNDÖRFER; QUEIROZ, 2009), confirmando os resultados desta pesquisa.

Tabela 2 Teores de clorofila e de silício (média±erro padrão) em parte aérea de plantas de duas cultivares de cana-de-açúcar, com moderada resistência (MR) e suscetível (S), com e sem aplicação de silício (Si).

Tratamento	Teor de clorofila (SPAD)	Teor de silício (%)
RB72454 (MR)	34,9±0,75 b	0,66±0,04 a
RB72454 (MR) + Si	45,5±1,05 a	0,64±0,05 ab
SP801842 (S)	36,1±0,62 b	0,48±0,01 b
SP801842 (S) + Si	43,7±0,68 a	0,68±0,05 a
CV (%)	6,29	16,59

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

Com relação aos possíveis efeitos do silício sobre a lagarta *D. saccharalis*, apesar da infestação artificial das plantas, a ocorrência desse inseto nos diferentes tratamentos foi muito baixa (Tabela 3), provavelmente em razão da dificuldade de adaptação das lagartas às folhas de cana-de-açúcar, uma vez que foram criadas inicialmente em dieta artificial. No material de moderada resistência, RB72454, não foi observada nenhuma planta com coração morto, além da ausência de lagartas e de pupas. No material suscetível SP801842, a presença de sintomas de *D. saccharalis* ficou restrita a poucos registros e, assim, os resultados não são consistentes para inferir se o silício poderia ser benéfico à cana-de-açúcar, interferindo na infestação desse inseto-praga.

Contudo, pesquisas realizadas a campo na África do Sul têm demonstrado os efeitos positivos da aplicação de silício na indução de resistência a *E. saccharina* em cana-de-açúcar (KEEPING; MEYER, 2002, 2006; KVEDARAS et al., 2005; KVEDARAS; KEEPING, 2007).

Tabela 3 Número de plantas com sintoma de ‘coração morto’, de lagartas e de pupas de *D. saccharalis* em duas cultivares de cana-de-açúcar, com moderada resistência (MR) e suscetível (S), com e sem aplicação de silício (Si).

Tratamento	Coração morto*	Número*	
		Lagartas	Pupas
RB72454 (MR)	0	0	0
RB72454 (MR) + Si	0	0	0
SP801842 (S)	2	1	3
SP801842 (S) + Si	1	1	2

*Não foi realizada a análise estatística, devido ao reduzido número de dados observados

4.2 Influência de cultivares de cana-de-açúcar, aplicação de silício e parasitismo por *C. flavipes* no controle de *D. saccharalis*

Na avaliação do ataque da broca-da-cana em duas cultivares de cana-de-açúcar cultivadas em solo com e sem aplicação de silício, verificaram-se (Tabela 4) diferenças significativas para o número de orifícios no colmo. O maior número de orifícios encontrado foi na cultivar suscetível SP801842 não tratada com silício e o menor número de orifícios, na cultivar de moderada resistência RB72454 com silício.

Tabela 4 Número de orifícios no colmo, de galerias e intensidade de infestação (média±erro padrão) observados em plantas de duas cultivares de cana-de-açúcar, moderada resistência (MR) e suscetível (S), com e sem aplicação de silício (Si).

Tratamento	Número		Intensidade de infestação (%) ^{ns}
	Orifícios no colmo	Galerias ^{ns}	
RB72454 (MR)	9,4±8,49 ab	0,55±0,14	24,9±8,42
RB72454 (MR) + Si	6,0±3,22 b	0,60±0,10	38,5±9,15
SP801842 (S)	18,6±11,89 a	0,65±0,11	39,2±9,45
SP801842 (S) + Si	12,5±10,00 ab	0,60±0,12	33,5±9,94
CV (%)	77,65	18,37	68,57

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

^{ns}Não significativo pelo teste F ($p > 0,05$)

Com relação a galerias e à intensidade de infestação, observa-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 4).

A redução do número de orifícios no colmo em plantas tratadas com silício pode estar relacionada ao acúmulo desse elemento, formando uma barreira mecânica à penetração de lagartas nos primeiros instares de *D. saccharalis*. Resultado semelhante ao desta pesquisa foi observado por Dinardo-Miranda et al. (2012), em cana-de-açúcar cultivar IACSP94-2094, que apresentou menos da metade do número de orifícios em relação à cultivar suscetível.

Em milho, os orifícios de *D. saccharalis* também podem ser notados nos colmos, sendo que nos híbridos *Bt* o baixo número de orifícios relaciona-se com a sua alta resistência à *D. saccharalis* (LOCHE et al., 2009 ; MARQUES; ÁVILA; PARRA, 1999). Dessa forma, apesar de plantas de espécies diferentes, os resultados desta pesquisa são similares aos daqueles pesquisadores.

Em razão da reduzida ocorrência do inseto-praga e de seu inimigo natural, não foi possível realizar a análise estatística dos dados (Tabela 5). Mesmo assim, o número de lagartas encontradas foi maior na cultivar suscetível sem silício e o menor, na cultivar de moderada resistência com silício. Com relação ao parasitoide *C. flavipes*, as massas com pupas só foram encontradas na SP801842, talvez em função da maior incidência do inseto-praga nessa cultivar suscetível.

Portanto, os resultados não são suficientes para avaliar os efeitos do silício no comportamento do parasitoide *C. flavipes*, o qual parece não ser influenciado pela cultivar de cana-de-açúcar, corroborando os resultados apresentados por Mesquita et al. (2011).

Entretanto, na África do Sul, pesquisas realizadas a campo com a aplicação de até 10 t de silício por hectare demonstraram efeitos benéficos desse elemento na redução de mais de 30% da incidência da broca da cana-de-açúcar

E. saccharina, principalmente em cultivares suscetíveis (KEEPING; MEYER, 2002, 2006; KVEDARAS et al., 2005).

Outro fato que se deve ressaltar é que, em condições de estresse hídrico, o silício ofereceu maior proteção contra o ataque da broca *E. saccharina*, sendo esse benefício muito maior em cultivares suscetíveis (KVEDARAS; KEEPING, 2007).

Tabela 5 Número médio de lagartas e de pupas de *D. saccharalis* e de massa de *C. flavipes* observado em plantas de duas cultivares de cana-de-açúcar, com moderada resistência (MR) e suscetível (S), com e sem aplicação de silício (Si).

Tratamento	Número médio*		
	Lagarta	Pupa	Massa de <i>C. Flavipes</i>
RB72454 (MR)	3	0	0
RB72454 (MR) + Si	2	1	0
SP801842 (S)	5	0	2
SP801842 (S) + Si	4	0	1

*Não foi realizada a análise estatística devido ao reduzido número de dados observados

Verifica-se (Tabela 6) que as plantas com aplicação de silício acumularam uma quantidade desse elemento significativamente maior que as

plantas não tratadas, para ambas as cultivares. Além disso, na cultivar suscetível tratada, a quantidade desse elemento silício foi significativamente igual à do cultivar de moderada resistência sem aplicação de silício. Esses resultados reforçam a hipótese de que os cultivares de cana-de-açúcar variam na sua capacidade de acumular silício (ROSSETTO et al., 2005).

Tabela 6 Teores de silício e de lignina (média±erro padrão) em folhas de plantas de duas cultivares de cana-de-açúcar, com moderada resistência (MR) e suscetível (S), com e sem aplicação de silício (Si).

Tratamento	Silício (%)	Lignina (%) ^{ns}
RB72454 (MR)	0,18±0,00 ab	9,1±0,52
RB72454 (MR) + Si	0,19±0,01 a	9,9±0,73
SP801842 (S)	0,17±0,01 b	9,4±0,23
SP801842 (S) + Si	0,19±0,01 ab	9,2±0,38
CV (%)	6,87	11,97

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

^{ns}Não significativo, pelo teste F ($p > 0,05$)

Entretanto, em razão do número reduzido de lagartas, os resultados de acúmulo de silício nas plantas não podem ser correlacionados com o inseto-praga. Contudo, são suficientes para prever possíveis benefícios desse elemento para evitar o ataque de *D. saccharalis* à cultura de cana-de-açúcar, em razão da resistência à penetração de lagartas no colmo.

Já para valores de lignina não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 6). Estes valores corroboram os de Ferreira, Moraes e Antunes (2011), em soja. Contudo, diferem dos resultados obtidos, também para soja (MORAES; FERREIRA; COSTA, 2009) e para batata inglesa (GOMES et al., 2008), nas quais a aplicação de silício induziu um aumento no teor de lignina

Pode-se observar, pelos resultados de microscopia eletrônica de varredura feita na superfície das folhas das plantas, que aquelas com aplicação de silício apresentam pequenos cristais cobrindo parcialmente os estômatos (Figura 1). Foi possível notar o espessamento da cutícula pelo aspecto mais opaco e esbranquiçado das folhas. Nas folhas das plantas que não receberam aplicação de silício os estômatos não continham cristais.

Os resultados desta pesquisa assemelham-se aos observados em mudas de cafeeiro adubadas com ácido silícico, que apresentaram cutícula mais espessa (BOTELHO et al., 2009). Em outras pesquisas também se ressaltou a característica de cutículas mais espessas em plantas tratadas com silício (AMARAL, 2005; LIMA, 2006), corroborando as observações deste estudo.

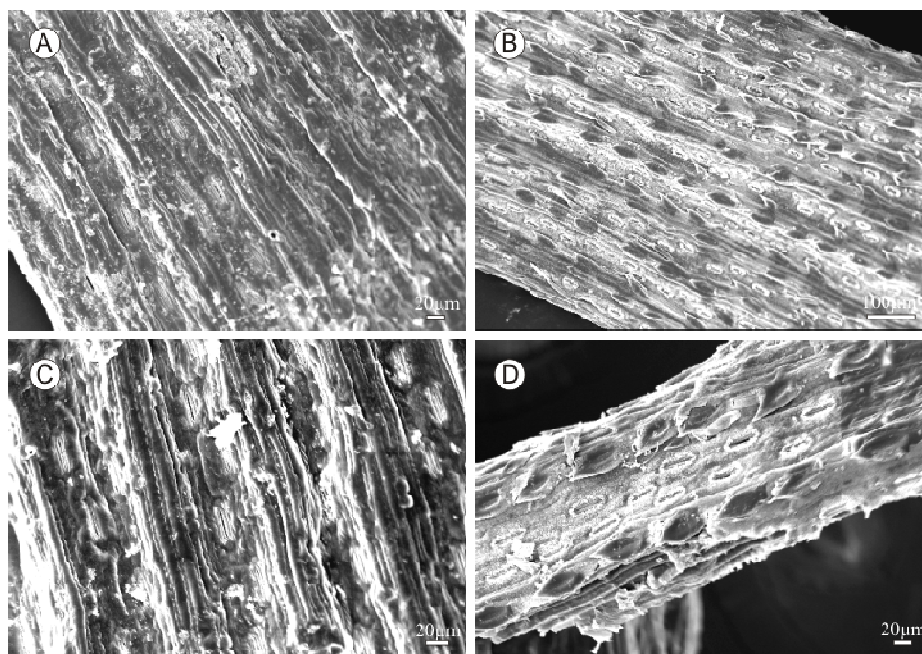


Figura 1 Eletromicrografias de varredura de folhas de cana-de-açúcar (RB72454-fig.A,B e SP801842) (C, D) adubadas (B, D) ou não (A, C) com ácido silícico, na concentração de 4 t/ha.

5 CONCLUSÕES

Não foi possível avaliar o efeito do silício no parasitismo de *C. flavipes*. Contudo, o silício foi benéfico para o desenvolvimento da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar, inclusive com aumento significativo no teor de clorofila. Além disso, a cana-de-açúcar apresentou resposta positiva à aplicação de silício, acumulando-o nas hastes e folhas, o que pode ser considerado um dos componentes da barreira de defesa da planta à penetração de lagartas no colmo.

REFERÊNCIAS

AGARIE, S.; AGATA, W.; KAUFMAN, P. B. Involvement of silicon in the senescence of Rice leaves. **Plant Production Science**, Shinkawa, v. 1, n. 2, p. 104-105, Apr. 1998.

ALMEIDA, L. C.; STINGEL, E. **Curso de monitoramento e controle de pragas da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira, 2005. 32 p.

AMARAL, D. R. **Indução de resistência em cafeeiro contra *Cercospora coffeicola* por eliciadores abióticos e extratos vegetais**. 2005. 96 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

ANDERSON, D. L. Soil and leaf nutrient interaction following application of calcium silicate slag to sugarcane. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 30, n. 1, p. 9-18, Oct. 1991.

ARAÚJO, J. R. **Guia prático para criação da broca da cana-de-açúcar e de seus parasitoides em laboratório**. Piracicaba: Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar, 1987. 36 p.

ÁVILA, F. W.; BALIZA, D. P.; FAQUIN, V.; ARAÚJO, J. L.; RAMOS, S. J. Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 184-190, abr./jun. 2010.

BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; PRABHU, A.S.; DATNOFF, L.E.; KORNDORFER, G.H. Importância do silício para a cultura do arroz: uma revisão de literatura. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 89, p. 1-8, 2000. Encarte técnico.

BASAGLI, M. A. B.; MORAES, J. C.; CARVALHO, G. A.; ECOLE, C. C.; GONÇALVES-GERVÁSIO, R. C. R. Effect of sodium silicate application on

the resistance of wheat plants to the green-aphids *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 659-663, Oct./Dec. 2003.

BOIÇA JÚNIOR, A. L.; LARA, F. M.; BELLODI, M. P. Influência de variedades de cana-de-açúcar, incorporados em dieta artificial, no desenvolvimento de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) e no seu parasitismo por *Cotesia flavipes* (Cam.). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 537-542, 1997.

BORTOLI, S. A.; DÓRIA, H. O. S.; ALBERGARIA, N. M. M. S.; BOTTI, M. V. Aspectos biológicos e dano de *Diatraea saccharalis* (Lepidóptera: Pyralidae) em sorgo cultivado sob diferentes doses de nitrogênio e potássio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 267-273, mar./abr. 2005.

BOTELHO, D. M. S.; POZZA, E. A.; ALVES, E.; FURTINI NETO, A. E.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; CASTRO, D. M. Aspectos anatômicos e fisiológicos de mudas de caféiro (*Coffea arabica* L.) com cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cook.) adubadas com ácido silícico. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 2, p. 93-99, jul./dez. 2009.

BOTELHO, P. S. M.; MACEDO, N. *Cotesia flavipes* para o controle de *Diatraea saccharalis*. In: PARRA, J. R. P. et al. (Ed.). **Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores**. São Paulo: Manole, 2002. p. 409-426.

CAMARGO, J. M. M.; MORAES, J. C.; OLIVEIRA, E. B.; PENTEADO, S. R. C.; CARVALHO, R. C. Z. Efeito da aplicação do silício em plantas de *Pinus taeda* L., sobre a biologia e morfologia de *Cinara atlantica* (Wilson, 1919) (Hemiptera:Aphididae). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1767-1774, nov./dez. 2008a.

CAMARGO, J. M. M.; MORAES, J. C.; OLIVEIRA, E. B.; IEDE, E. T. Resistência induzida ao pulgão-gigante-do-pinus (Hemiptera: Aphididae) em plantas de *Pinus taeda* adubadas com silício. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 927-932, out./dez. 2008b.

CARVALHO, S. P.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G. Efeito do silício na resistência do sorgo (*Sorghum bicolor*) ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rond.) (Homoptera: Aphididae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 505-510, set. 1999.

CARVALHO FILHO, A.; PEREIRA, L. J.; CORTEZ, J. W.; CARVALHO, L. C. C.; DRUMOND, L. C. D. Agressividade da adubação com silicato sobre germinação do milho. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 8, n. 2, p. 199-203, mar./abr. 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de 2008 de cana-de-açúcar**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_05_09_11_59_boletim_cana_portugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf>. Acesso em: 10 out. 2012.

COSTA, R. R.; MORAES, J. C.; COSTA, R. R. da. Feeding behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum* on wheat plants treated with imidacloprid and/or silicon. **Journal of Applied Entomology**, Hamburg, v. 135, n. 1/2, p. 115-120, Feb. 2011.

CRUZ, I. A **broca da cana-de-açúcar, *Diatraea saccharalis*, em milho, no Brasil**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 2007. 12 p.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. 424 p.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; ANJOS, I. A.; COSTA, V. P.; FRACASSO, J. V. Resistance of sugarcane cultivars to *Diatraea saccharalis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 1, p. 1-7, jan. 2012.

EMRICH, E. B.; SOUZA, R. J.; LIMA, A. A.; FIGUEIREDO, F. C.; SILVA, D. R. G. Cultivo do tomateiro em substratos orgânicos sob aplicação foliar de silicato de potássio em ambiente protegido. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 56-61, jan./fev. 2011.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 641-664, 1999.

EXLEY, C. Silicon in life: a bioinorganic solution to bioorganic essentiality. **Journal of Inorganic Biochemistry**, New York, v. 69, n. 3, p. 139-144, Feb. 1998.

FARIA JÚNIOR, L. A.; CARVALHO, J. G.; PINHO, P. J.; BASTOS, A. R. R.; FERREIRA, E. V. O. Produção de matéria seca, teor e acúmulo de silício em cultivares de arroz sob doses de silício. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1034-1040, jul./ago. 2009.

FERREIRA, R. S.; MORAES, J. C.; ANTUNES, C. S. Silicon influence on resistance induction against *Bemisia tabaci* biotype B (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) and on vegetative development in two soybean cultivars. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 40, n. 4, p. 495-500, July/Aug. 2011.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BAPTISTA, G.C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J.D.; MARCHINI, L.C.; LOPES, J.R.S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

GOMES, C. F.; MARCHETTI, M. E.; NOVELINO, J. O.; MAUAD, M.; ALOVISI, A. M. T. Disponibilidade de silício para a cultura do arroz, em função de fontes, tempo de incubação e classes de solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 531-538, out./dez. 2011.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; SANTOS, C. D.; ANTUNES, C. S. Uso de silício como indutor de resistência em batata a *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 37, n. 2, p. 185-190, mar./abr. 2008.

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, set./out. 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, jan./fev. 2009.

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 lagartado-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 305-310, abr./jun. 2002.

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* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 807-813, Sept./Oct. 2005.

GUÉVEL, M. H.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 119, n. 4, p. 429-436, Dec. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

Levantamento sistemático da produção agrícola: sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201208.pdf>. Acesso em: 14 out. 2012.

JACKSON, M. L. Chemical composition of soil. In: BEAR, F. E. (Ed.). **Chemistry of the soil**. 2nd ed. New York: Reinhold, 1964. p. 71-141.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, p. 107-149, 1967.

KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Calcium silicate enhances resistance of sugarcane to the African stalk *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). **Agricultural and Forest Entomology**, London, v. 4, n. 4, p. 265-274, 2002.

KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-mediated resistance of sugarcane to *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae): effects of silicon source and cultivar. **Journal of Applied Entomology**, Hamburg, v. 130, n. 8, p. 410-420, Aug. 2006.

KING, E. G.; HARTLEY, G. G. *Diatraea saccharalis*. In: SINGH, P.; MOORE, R. F. (Ed.). **Handbook of insect rearing**. New York: Elsevier, 1985. p. 265-270.

KORNDÖRFER, A. P.; CHERRY, R.; NAGATA, R. Effect of calcium silicate on feeding and development of tropical sod webworms (Lepidoptera: Pyralidae). **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 87, n. 3, p. 393-395, Sept. 2004.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Papel do silício na produção de cana-de-açúcar. **Revista da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, Piracicaba, v. 21, n. 2, p. 34-37, 2002.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. 3. ed. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2004. 23 p. (Boletim Técnico, 2).

KVEDARAS, O. L.; KEEPING, M. G.; GEOBEL, R.; BYRNE, M. Effects of silicon on the African stalk borer, *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae) in Sugarcane. In: ANNUAL CONGRESS OF THE SOUTH AFRICAN SUGAR TECHNOLOGISTS' ASSOCIATION, 79., 2005, Durban. **Proceedings...** Durban: South African Sugar Technologists Association, 2005. p. 359-362.

KVEDARAS, O. L.; AN, M.; CHOI, Y. S.; GURR, G. M. Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defenses. **Bulletin of Entomological Research**, Farnham Royal, v. 100, n. 3, p. 367-371, June 2010.

KVEDARAS, O. L.; KEEPING, M. G. Silicon impedes stalk penetration by the borer *Eldana saccharina* in sugarcane. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 125, n. 1, p. 103-110, Oct. 2007.

LAING, M. D.; GATARAYIHA, M. C.; ADANDONON, A. Silicon use for pest control in agriculture: a review. In: ANNUAL CONGRESS OF THE SOUTH AFRICAN SUGAR TECHNOLOGISTS' ASSOCIATION, 80., 2006, Durban. **Proceedings...** Durban: South African Sugar Technologists Association, 2006. p. 278-286.

LARA, F. M. **Princípios de resistência de plantas a insetos**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 1991. 336 p.

LIMA, L. M. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) com fungicidas e silício**. 2006. 81 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, S. M. O silício na agricultura. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v. 87, n. 1, p. 1-7, 1999.

LOCHE, E. T.; NOVAKOWISKI, J. H.; BREN, L.; SANDINI, I. E. Severidade de *Diatraea saccharalis*, produtividade e massa de grãos em milho Bt e seu similar convencional. In: SEMANA DE INTEGRAÇÃO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 1., 2009, Guarapuava. **Anais...** Guarapuava: SIEPE, 2009. Disponível em: <http://anais.unicentro.br/siepe/2009/pdf/resumo_618.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2012.

LUCCHESI, A. A. Cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Coord.). **Ecofisiologia de culturas extrativas: cana-de-açúcar**,

seringueira, coqueiro, dendezeiro e oliveira. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. p. 13-45.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATINOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 17-39.

MARQUES, G. B. C.; ÁVILA, C. J.; PARRA, J. R. P. Danos causados por larvas e adultos de *Diabrotica speciosa* (Coleoptera: Chrysomelidae) em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 1983-1986, nov. 1999.

MASSEY, F. P.; ENNOS, R.; HARTLEY, S. E. Silica in grasses as a defense against insect herbivores: contrasting effects on folivores and a phloem feeder. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 75, n. 2, p. 595-603, Mar. 2006.

MATICHENKOV, V. V.; CALVERT, D. V. Silicon as a beneficial element for sugarcane. **Journal American Society of Sugarcane Technologists**, Baton Rouge, v. 22, p. 21-25, 2002.

MENDONÇA, A. F. **Pragas da cana-de-açúcar**. Maceió: INSETOS & CIA, 1996. 200 p.

MESQUITA, F. L. T.; MENDONÇA, A. L.; SILVA, C. E.; CORREIA, A. M. O.; SALES, D. F. M.; CABRAL-JUNIOR, C. R.; NASCIMENTO, R. R. Influence of *Saccharum officinarum* (Poales: Poaceae) variety on the reproductive behavior of *Diatraea flavipennella* (Lepidoptera: Crambidae) and on the attraction of the parasitoid *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae). **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 94, n. 3, p. 420-427, Sept. 2011.

MEYER, J. H.; KEEPING, M. G. Impact of silicon in alleviating biotic stress in sugarcane in South Africa. **Sugar Cane International**, Farmington, v. 23, p. 14-18, 2005.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cana-de-açúcar tem safra recorde em Minas**. Disponível em: <<http://www.agricultura.mg.gov.br/noticias/731>>. Acesso em: 12 fev. 2013.

MORAES, J. C.; GOUSSAIN, M. M.; CARVALHO, G. A.; COSTA, R. R. Feeding nonpreference of the corn leaf aphid *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) to corn plants (*Zea mays* L.) treated with silicon. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 761-766, jul./ago. 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**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 619-624, Sept./Oct. 2004.

MORAES, J. C.; FERREIRA, R. S.; COSTA, R. R. Indutores de resistência à mosca-branca *Bemisia tabaci* Biótipo B (GENN., 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) em soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1260-1264, set./out. 2009.

PLUCKNETT, D. L. The use soluble silicates in Hawaii agriculture. **Journal of the University of Queensland**, Hawaii, v. 1, n. 6, p. 203-223, 1971.

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 sugar cane. **Crop Protection**, Guildford, v. 11, n. 1, p. 84-88, Feb. 1992.

RAMOS, L. A.; KORNDORFER, G. H.; QUEIROZ, A. A. Avaliação de fontes de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 10-16, mar./abr. 2009.

RIBEIRO, R. V.; SILVA, L.; RAMOS, R. A.; ANDRADE, C. A.; ZAMBROSI, F. C. B.; PEREIRA, S. P. O alto teor de silício no solo inibe o crescimento radicular de cafeeiros sem afetar as trocas gasosas foliares. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 939-948, maio/jun. 2011.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 301 p.

ROSSETO, R.; LIMA FILHO, O. F.; AMORIN, H. V.; TSAI, S. M.; CAMARGO, M. S.; MELONIA, A. B. Silicon content in different sugarcane varieties. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia. **Proceedings...** Uberlândia: UFU, 2005. p. 134.

SANGSTER, A. G.; HODSON, M. J.; PARRY, D. W. Silicon deposition and anatomical studies in the inflorescence bracts of four *Phalaris* species with their possible relevance to carcinogenesis. **New Phytologist**, Cambridge, v. 93, n. 1, p. 105-122, 1982.

SANTOS, A. B.; PRABHU, A. S.; FERREIRA, E.; FAGERIA, N. K. Fertilização silicatada na severidade de brusone e na incidência de insetos-praga em arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 537-543, set./out. 2009.

SANTOS, L. V.; CAMARGO, M. S.; AMORIM, L. **Relação entre o teor de silício nas folhas de cana-de-açúcar e incidência de ferrugem**. Disponível em: <<http://www.usp.br/siicusp/Resumos/16Siicusp/3770.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2010.

SAVANT, N. K.; SNYDER, G. D.; DATNOFF, L. E. Silicon in management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 58, p. 151-199, 1996.

SOUZA, E. A.; MORAES, J. C.; AMARAL, J. L.; LIBERATO, R. D.; BONELLI, E. A.; LIMA, L. R. Efeito da aplicação de silicato de cálcio em *Brachiaria rizantha* cv. Marandu sobre a população de ninfas do percevejo

castanho das raízes *Staptocoris carvalhoi* Becker, 1967, características químicas do solo, planta e produção de matéria seca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1518-1526, nov./dez. 2009.

VILELA, H.; ANDRADE, R. A.; VILELA, D. Efeito de níveis de silicato sobre a correção do solo, produção e valor nutritivo do capim elefante paraíso (*Pennisetum hybridum*). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2007. p. 9-13.

WANGEN, D. R. B. **Silício na produtividade e no controle da cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata* Stal em cana-de-açúcar**. 2007. 66 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.