

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM PROTEÇÃO DE PLANTAS

VANESSA DE MELO RODRIGUES

AGROSILÍCIO COMO INDUTOR DE RESISTÊNCIA: INTERAÇÕES ENTRE A CANA-
DE-AÇÚCAR, *Diatraea saccharalis* (FABRICIUS, 1794) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE)
E *Cotesia flavipes* (CAMERON, 1891) (HYMENOPTERA: BRACONIDAE)

RIO LARGO

2015

VANESSA DE MELO RODRIGUES

AGROSILÍCIO COMO INDUTOR DE RESISTÊNCIA: INTERAÇÕES ENTRE A CANA-
DE-AÇÚCAR, *Diatraea saccharalis* (FABRICIUS, 1794) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE)
E *Cotesia flavipes* (CAMERON, 1891) (HYMENOPTERA: BRACONIDAE)

Defesa da Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Proteção de Plantas da Universidade
Federal de Alagoas, como requisito parcial para
obtenção do grau de Doutora em Proteção de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Ivanildo Soares de Lima

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Adriana Guimarães Duarte

RIO LARGO

2015

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

R696a Rodrigues, Vanessa de Melo.

Agrosilício como indutor de resistência: interações entre a cana-de-açúcar, *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794), (*Lepidoptera: Crambidae*) e *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891) (*Hymenoptera: braconidae*) / Vanessa de Melo Rodrigues. – 2015.
95 f.; il.

Orientador: Ivanildo Soares de Lima.

Coorientadora: Adriana Guimarães Duarte.

Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, 2015.

Bibliografias: f. 94-95.

1. *Saccharum* spp. 2. *Insecta*. 3. Silício. 4. Parasitoide. 5. Pragas – Manejo Integrado. I. Título.

CDU: 632.7(076.5)

Folha de Aprovação

VANESSA DE MELO RODRIGUES

AGROSILÍCIO COMO INDUTOR DE RESISTÊNCIA: INTERAÇÕES ENTRE A CANA-DE-AÇÚCAR, *Diatraea saccharalis* (FABRICIUS, 1794) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) E *Cotesia flavipes* (CAMERON, 1891) (HYMENOPTERA: BRACONIDAE) / Defesa da Tese em Proteção de Plantas, da Universidade Federal de Alagoas.

Defesa da Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 27 de maio de 2015.

Prof. Dr. Ivanildo Soares de Lima, Universidade Federal de Alagoas
(Orientador)

Banca examinadora:

Prof. Dr. Elio Cesar Guzzo, Embrapa Tabuleiros Costeiros e UFAL
(Examinador Interno)

Dra. Cenira Monteiro de Carvalho, Instituto de Química e Biotecnologia/UFAL
(Examinadora Externa)

Dr. Anderson Carlos Marafon, Embrapa Tabuleiros Costeiros
(Examinador Externo)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Valter Rodrigues Sabino e Mariluce de Melo Rodrigues;

Ao meu esposo José Orlando de Barros Tenório e nossa amada filha Ana Júlia Rodrigues Tenório;

Aos meus irmãos, Waleska de Melo Rodrigues, Walter Rodrigues Sabino Júnior e Katiúscia Maria de Melo Rodrigues;

Aos meus sobrinhos Lucas Rodrigues Tenório, Matheus Rodrigues Tenório, Nicollyn Rodrigues Cavalcante e Davi José Rodrigues Tenório;

*Pelo carinho, dedicação, pelos ótimos momentos vividos e por aqueles que deixamos de
compartilhar.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e força de estar concluindo um sonho e pela possibilidade de crescer a cada dia;

Ao Prof. Dr. Ivanildo Soares de Lima, pelos ensinamentos, pela orientação, amizade e apoio para realização desse trabalho;

À coorientadora Prof^a. Dr^a. Adriana Guimarães Duarte, pela amizade, ensinamentos e colaboração na condução desse trabalho;

Aos Drs. Elio Cesar Guzzo e Anderson Carlos Marafon, pelas contribuições e sugestões de correções desta tese;

À Dr^a. Cenira Monteiro de Carvalho, pela contribuição ao realizar as correções, sugestões e pelos ensinamentos com a coleta e extração dos compostos voláteis da planta;

Aos Profs. Drs. Gaus Silvestre de Andrade Lima e Iraildes Pereira Assunção pelo apoio, conselhos e amizade;

Ao Ítalo França, Francisco Cavalcante e ao Luis, da empresa FITOAGRO - Controle Biológico, pela concessão de materiais biológicos utilizados neste trabalho;

Aos Profs. Drs. Antônio Euzébio Goulart de Sant'Ana e Henrique Fonseca Goulart, pela concessão do espaço no IQB/UFAL para realização dos experimentos com compostos voláteis;

Ao Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA-UFAL), pelo solo e toletes de cana-de-açúcar utilizados neste trabalho, em especial ao Prof. Dr. Iêdo Teodoro e aos funcionários do PMGCA Edmundo e José Ramos;

Às Prof^{as}. Dr^{as}. Sônia Maria Forti Broglio e Roseane Cristina Prêdes Trindade, pelos ensinamentos na área de entomologia e concessão do espaço no telado para realização de parte deste trabalho;

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo para realização do curso;

Ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Proteção de Plantas do Centro de Ciências Agrárias, pelos ensinamentos;

Aos funcionários da Secretaria da pós-graduação, Geraldo de Lima, Marcos Antonio Lopes e Michele Cristina pelo atendimento e carinho aos alunos;

Aos amigos Hully Monaísy Alencar Lima e Anderson Rodrigues Sabino pela amizade e grande contribuição dado ao trabalho;

Aos que fazem parte do Laboratório de Ecologia e Comportamento de Insetos, em especial aos amigos, Lud'milla Monique Dorvillé, Daniel Silva Torres, Rui Fernando da Silva e Fábio Francisco por todo apoio, amizade e ótima convivência;

Aos colegas e amigos, Maria Quiteria Cardoso dos Santos, Maria Erika Francisca Sales, Ellen Carine Neves Valente, Joseani Castro da Silva, Jaqueline Figueiredo de Oliveira, Deyse Ferreira Rocha, Danilo César Oliveira, Wellington Costa da Silva, Débora Teresa Ferreira, Jakeline Maria dos Santos, Djison Silvestre dos Santos, José Rosildo e Anilde Maciel, pelo excelente convívio durante a realização do curso.

RESUMO

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) expandiu-se por todos os estados brasileiros devido às condições edafoclimáticas favoráveis do país e devido à sua importância para a economia nacional. Porém, essa cultura enfrenta ainda uma série de problemas agrônômicos, incluindo a ocorrência de pragas, em particular, a presença da broca comum *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) que ocasiona redução na produção de açúcar e álcool. Uma das estratégias do Manejo Integrado de Pragas (MIP) é a indução de resistência da planta aos insetos-praga e o silício tem se mostrado capaz de induzir essa resistência. Além disso, pode afetar a interação tritrófica planta-praga-inimigo natural de forma negativa, demonstrando a incompatibilidade entre os dois métodos de controle, ou positiva com efeitos cumulativos sobre a redução das pragas. O objetivo deste trabalho foi estudar a indução de resistência a *D. saccharalis* na variedade de cana-de-açúcar SP791011, a partir da avaliação do desenvolvimento vegetativo das plantas adubadas e não-adubadas com diferentes doses de Agrosilício e submetidas à infestação artificial da praga. Objetivou-se ainda, avaliar os efeitos da adubação sobre os aspectos biológicos e comportamentais de *D. saccharalis*; e o efeito do silício na interação tritrófica *D. saccharalis* - *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891) (Hymenoptera: Braconidae) - cana-de-açúcar. Houve aumento no número de entrenós nas plantas que receberam as maiores doses de Agrosilício, enquanto que o número de entrenós brocados, a Intensidade de Infestação (% I.I.) e o número de lagartas de *D. saccharalis* capturadas, diminuíram nas plantas que receberam a maior dose de Agrosilício. A massa fresca de colmos e raízes, bem como a massa seca de folhas, colmos e raízes não diferiram estatisticamente em relação às doses de Agrosilício. Nos testes com e sem chance de escolha para oviposição de *D. saccharalis*, houve uma diminuição do número de ovos, conforme as doses de Agrosilício aumentaram. Com relação ao parasitismo de *C. flavipes* em lagartas de *D. saccharalis*, a adubação silicatada não interferiu significativamente nas variáveis analisadas. Os parâmetros da tabela de vida de fertilidade demonstraram que a incorporação do colmo em pó da cana-de-açúcar adubada com a maior dose de Agrosilício, influenciou de maneira negativa no desenvolvimento e reprodução de *D. saccharalis*. Não houve interferência na biologia de *C. flavipes* criadas em lagartas de *D. saccharalis* alimentadas com dieta artificial contendo o pó do colmo da cana-de-açúcar adubada com até 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício.

Palavras-chave: *Saccharum* spp. Insecta. Silício. Parasitoide. Manejo Integrado de Pragas

ABSTRACT

The sugar cane plant (*Saccharum* spp.) spread out by all Brazilian states due to favorable soil and climate conditions of the country and because of its importance to the national economy. However, this culture still faces a number of agronomic issues, including the occurrence of pests and, in particular, the presence of the sugar cane borer *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) that causes reduced production of sugar and alcohol. One of the strategies of Integrated Pest Management (IPM) is the plant's induced resistance to insect pests, and silicon has been shown to induce this resistance. It can also affect the interaction tritrophic natural plant-pest-enemy negatively, demonstrating the incompatibility between the two methods of control, or with positive cumulative effects on reducing pests. The objective of this work was to study the induction of resistance of *D. saccharalis* in the sugarcane variety of SP791011, from the evaluation of the vegetative growth of the plants fertilized and non-fertilized with different doses of Agrosilício and submitted to artificial infestation of this pest. Another aim of the study was to evaluate the effects of fertilization on the biological and behavioral aspects of *D. saccharalis*; in addition to observing the effect of silicon on tritrophic interaction *D. saccharalis* - *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891) (Hymenoptera: Braconidae) - sugarcane. There was an increase in the number of internodes on plants that received the highest doses of Agrosilício while the number of damaged internodes, the Infestation Intensity (% I.I.) and the number of larvae captured decreased on those plants which received highest doses of Agrosilício. The fresh mass of stems and roots and the dry mass of leaves, stems and roots did not differ statistically in relation to doses of Agrosilício. In free choice test and no-choice, for oviposition of *D. saccharalis*, there was a decrease in the number of eggs as the Agrosilício doses increased. Regarding the parasitism of *C. flavipes* in larvae of *D. saccharalis*, the Silicon fertilization did not interfere significantly in the analyzed variables. Parameters of fertility life table showed that the incorporation of powdered stalk of sugarcane fertilized with the highest dose of Agrosilício influenced negatively in the development and reproduction of *D. saccharalis*. There was no interference in *C. flavipes* biology reared in sugarcane borer larvae fed on artificial diet containing the powdered stalk of sugarcane fertilized with up to 6.0 t ha⁻¹ Agrosilício.

Keyword: *Saccharum* spp. Insecta. Silicon. Parasitoid. Integrated Pest Management

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Principais pragas da cana-de-açúcar. A- broca comum; B- cigarrinha; e C- broca gigante.....	18
Figura 2 -	Parasitismo por <i>Cotesia flavipes</i> em lagartas de <i>Diatraea saccharalis</i> . A - Fêmea de <i>C. flavipes</i> introduzindo o ovipositor em <i>D. saccharalis</i> ; B - Larvas de <i>C. flavipes</i> migrando para fora do corpo do hospedeiro no último estágio larval; C - Larvas de <i>C. flavipes</i> tecendo casulos de seda; e D - Massa de pupas de <i>C. flavipes</i> sobre lagartas de <i>D. saccharalis</i>	20
Figura 3 -	Imagens ilustrativas das mandíbulas de lagartas de <i>Eldana saccharina</i> . A - lagartas alimentadas com cana-de-açúcar adubadas com silicato de cálcio; e B - lagartas alimentadas com cana-de-açúcar sem silicato de cálcio.....	27
Figura 4 -	Infestação de mudas de cana-de-açúcar da variedade SP791011 por ovos de <i>Diatraea saccharalis</i> . A - Papel manteiga com os ovos e; B - Papel manteiga após a eclosão dos ovos.....	45
Figura 5 -	Gaiolas utilizadas no teste de não preferência para oviposição da broca comum <i>Diatraea saccharalis</i> , com chance de escolha, em cana-de-açúcar da variedade SP791011 com diferentes doses de Agrosilício. A - Vista frontal da gaiola e B – Adultos da broca comum após liberação no interior das gaiolas.....	47
Figura 6 -	Gaiola utilizada no teste de não preferência para oviposição da broca comum <i>Diatraea saccharalis</i> , sem chance de escolha, em cana-de-açúcar da variedade SP791011 com diferentes doses de Agrosilício.....	48
Figura 7 -	Etapas do teste de parasitismo por <i>Cotesia flavipes</i> em lagartas de <i>Diatraea saccharalis</i> no interior do colmo da cana-de-açúcar. A - Infestação das plantas com <i>D. saccharalis</i> no interior de tubos de <i>Eppendorf</i> ; B – Cana-de-açúcar infestada por <i>D. saccharalis</i> no interior da gaiola; C - Aspecto do <i>Eppendorf</i> quatro dias após a infestação por <i>D. saccharalis</i> ; e D - Liberação dos adultos de <i>C. flavipes</i> no interior das gaiolas.....	49
Figura 8 -	A - Número de entrenós; B - Número de entrenós brocados; C - % I.I. por <i>Diatraea saccharalis</i> e; D - Número de lagartas coletadas após 40 dias de infestação artificial por <i>D. saccharalis</i> em cana-de-açúcar da variedade SP791011 em função das doses de Agrosilício.....	51
Figura 9 -	Porcentagem de silício em colmos de cana-de-açúcar da variedade SP791011 em função das doses de Agrosilício.....	54

Figura 10 -	Sintomas de danos na testemunha após 40 dias de infestação artificial de <i>Diatraea saccharalis</i> em cana-de-açúcar da variedade SP791011. A - enraizamento aéreo; B - brotação lateral; C - secamento do ponteiro; D - herbivoria na base da planta; E - orifício de saída do inseto; e F - galeria no interior do colmo com sintoma de podridão vermelha.....	55
Figura 11 -	Sintomas de danos após 40 dias de infestação artificial de <i>Diatraea saccharalis</i> em cana-de-açúcar da variedade SP791011 adubadas com 2,0 t ha ⁻¹ de Agrosilício. A - herbivoria nas folhas; e B - enraizamento aéreo...	56
Figura 12 -	Sintomas de danos após 40 dias de infestação artificial de <i>Diatraea saccharalis</i> em cana-de-açúcar da variedade SP791011 adubadas com 4,0 t ha ⁻¹ de Agrosilício. A - herbivoria do colmo e orifício de saída do inseto; e B - Brotação lateral.....	56
Figura 13 -	Sintomas de danos após 40 dias de infestação artificial de <i>Diatraea saccharalis</i> em cana-de-açúcar da variedade SP791011 adubadas com 6,0 t ha ⁻¹ de Agrosilício. A - manchas vermelhas na planta; e B - orifício de saída do inseto.....	57
Figura 14 -	A - Massa fresca de folhas (g) após 40 dias de infestação artificial por <i>Diatraea saccharalis</i> em cana-de-açúcar da variedade SP791011 em função das doses de Agrosilício.....	58
Figura 15 -	Número de posturas no teste de não preferência para oviposição de <i>Diatraea saccharalis</i> , com chance de escolha, em plantas de cana-de-açúcar da variedade SP791011 adubadas ou não com diferentes doses de Agrosilício.....	59
Figura 16 -	Teste de não preferência para oviposição de <i>Diatraea saccharalis</i> , sem chance de escolha, em plantas de cana-de-açúcar da variedade SP791011 adubadas ou não com diferentes doses de Agrosilício. A - número de ovos; e B - número de posturas.....	60
Figura 17 -	Porcentagem de pupas de <i>Diatraea saccharalis</i> no teste de parasitismo de <i>Cotesia flavipes</i> em lagartas de <i>Diatraea saccharalis</i> no interior do colmo da cana-de-açúcar da variedade SP791011 adubadas ou não com diferentes doses de Agrosilício.....	62
Figura 18 -	A - Estufa utilizada para esterilizar os tubos de vidro destinados a acondicionar as dietas de alimentação; B - Dieta sendo vertida nos tubos de alimentação e; C - Dieta de realimentação cortada em cubo.....	76
Figura 19 -	Ovos de <i>Diatraea saccharalis</i> em placas de Petri com papel filtro umedecido em água destilada para avaliação da eclosão.....	79
Figura 20 -	Lagarta de <i>Diatraea saccharalis</i> sendo oferecida ao parasitoide <i>Cotesia flavipes</i>	81

- Figura 21 - Formação da massa cotonosa de *Cotesia flavipes*. A- Larvas de *C. flavipes* no último estágio quando as larvas migram para fora do corpo do hospedeiro, B; larvas tecendo casulo onde empupam e C; casulos unidos formando uma massa cotonosa branca de onde emergem os adultos..... 82
- Figura 22 - Massa cotonosa e adultos de *Cotesia flavipes* em vidro de fundo chato de 8,5 cm x 2,5 cm vedado com filme plástico onde permaneceram até a morte dos adultos 82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Características químicas dos solos utilizados nos experimentos, antes da adubação com Agrosilício.....	42
Tabela 2 -	Características físicas dos solos utilizados nos experimentos, antes da adubação com Agrosilício.....	43
Tabela 3 -	Caracterização química e física da escória siderúrgica utilizada no plantio das mudas de cana-de-açúcar da variedade SP791011. Valores em %.....	43
Tabela 4 -	Características químicas do solo antes da adubação com Agrosilício.....	73
Tabela 5 -	Características físicas do solo antes da adubação com Agrosilício.....	74
Tabela 6 -	Caracterização química e física da escória siderúrgica utilizada no plantio das mudas de cana-de-açúcar da variedade SP79101. Valores em %.....	74
Tabela 7 -	Composição das dietas artificiais de alimentação e realimentação (modificadas de Hensley; Hammond, 1968) utilizadas para o desenvolvimento de <i>Diatraea saccharalis</i>	77
Tabela 8 -	Parâmetros da Tabela de Vida de Fertilidade: Taxa líquida de reprodução (R_0), taxa intrínseca de aumento populacional (r_m), intervalo entre gerações (T), tempo para duplicar a população (TD) e razão finita de aumento populacional (λ) de <i>Diatraea saccharalis</i> criada em diferentes dietas.....	83
Tabela 9 -	Média ($\pm$ E.P.) da fecundidade de <i>Diatraea saccharalis</i> alimentadas em diferentes dietas artificiais. Temperatura de 21 ± 1 °C, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 horas.....	87
Tabela 10 -	Média ($\pm$ E.P.) dos períodos de; ovo-pupa, pupa e longevidade de <i>Cotesia flavipes</i> . Temperatura de 27 ± 1 °C, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e 12 horas de fotofase.....	88
Tabela 11 -	Número médio ($\pm$ E.P.) de machos e fêmeas de <i>Cotesia flavipes</i> . Temperatura de 27 ± 1 °C, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e 12 horas de fotofase.....	89
Tabela 12 -	Número médio ($\pm$ E.P.) do peso da massa cotonosa, número de pupas, número de adultos emergidos e viabilidade pupal de <i>Cotesia flavipes</i> . Temperatura de 27 ± 1 °C, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e 12 horas de fotofase.....	89

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	15
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Cultura da cana-de-açúcar	17
2.2 Broca comum da cana-de-açúcar <i>Diatraea saccharalis</i>	18
2.3 Controle biológico de <i>Diatraea saccharalis</i> com <i>Cotesia flavipes</i>	19
2.4 Silício: elemento benéfico	22
2.4.1 Silício no solo e na planta.....	23
2.4.2 Silício de escórias siderúrgicas	24
2.4.3 Silício como indutor de resistência	25
2.4.4 Influência do Silício na interação tritrófica	28
REFERÊNCIAS	30
3 INFLUÊNCIA DO AGROSILÍCIO NO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR E SOBRE ASPECTOS COMPORTAMENTAIS DE <i>Diatraea saccharalis</i> (FABRICIUS, 1794) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) E DO PARASITOIDE <i>Cotesia flavipes</i> (CAMERON, 1891) (HYMENOPTERA: BRACONIDAE).....	38
RESUMO.....	38
ABSTRACT	39
3.1 INTRODUÇÃO	40
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	42
3.2.1 Local e Instalações	42
3.2.2 Obtenção e análise do substrato	42
3.2.3 Fonte de Silício	43
3.2.4 Preparação das mudas.....	43
3.2.5 Infestação das plantas por <i>Diatraea saccharalis</i>	44
3.2.6 Efeito da infestação de <i>Diatraea saccharalis</i> no desenvolvimento vegetativo e Intensidade de Infestação (% I.I.)	45
3.2.7 Teste de não preferência para oviposição de <i>Diatraea saccharalis</i>	46
3.2.7.1 Teste com chance de escolha	47
3.2.7.2 Teste sem chance de escolha.....	47
3.2.8 Parasitismo de <i>Cotesia flavipes</i> em lagartas de <i>Diatraea saccharalis</i> no interior do colmo da cana-de-açúcar	48

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
3.3.1 Efeito da infestação de <i>Diatraea saccharalis</i> no desenvolvimento vegetativo e Intensidade de Infestação (% I.I.).....	50
3.3.2 Teste de não preferência para oviposição de <i>Diatraea saccharalis</i>	59
3.3.3 Parasitismo de <i>Cotesia flavipes</i> em lagartas de <i>Diatraea saccharalis</i> no interior do colmo da cana-de-açúcar.....	61
3.4 CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS	65
4 INFLUÊNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR ADUBADA OU NÃO COM AGROSILÍCIO E INCORPORADAS EM DIETA ARTIFICIAL, NO DESENVOLVIMENTO DE <i>Diatraea saccharalis</i> (FABRICIUS, 1794) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) E DO SEU PARASITOIDE <i>Cotesia flavipes</i> (CAMERON, 1891) (HYMENOPTERA: BRACONIDAE)	69
RESUMO.....	69
ABSTRACT	70
4.1 INTRODUÇÃO	71
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	73
4.2.1 Local e Instalações	73
4.2.2 Obtenção e análise do substrato	73
4.2.3 Fonte de silício	74
4.2.4 Preparação das mudas e do pó do colmo da cana para incorporação nas dietas	74
4.2.5 Preparação das dietas de alimentação e realimentação.....	75
4.2.6 Desenvolvimento de <i>Diatraea saccharalis</i> em cinco dietas artificias.....	78
4.2.7 Tabela de vida de fertilidade de <i>Diatraea saccharilis</i>	80
4.2.8 Interferência de <i>Diatraea saccharalis</i> alimentadas com diferentes dietas artificiais na biologia de <i>Cotesia flavipes</i>	81
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
4.3.1 Tabela de vida de fertilidade de <i>Diatraea saccharalis</i>	83
4.3.2 Fecundidade de <i>Diatraea saccharalis</i> em cinco dietas artificias.....	87
4.3.3 Interferência de <i>Diatraea saccharalis</i> alimentadas com diferentes dietas artificiais na biologia de <i>Cotesia flavipes</i>	88
4.4 CONCLUSÕES	90
REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO GERAL

A produção nacional de cana-de-açúcar, *Saccharum officinarum* L. (Poaceae), destinada à indústria sucroalcooleira, para a safra 2015/2016, em uma área de 9,004 milhões de hectares, está prevista para 654,613 milhões de toneladas, das quais 56,17% serão destinados para a produção de álcool e 43,83% para a fabricação de açúcar (CONAB, 2015).

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais importantes do Brasil, sendo as regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste as maiores produtoras. Na região Nordeste, os Estados de Alagoas e Pernambuco são os maiores produtores, atingindo 65,25% da produção regional e 5,80% da produção nacional. Por apresentar condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar, Alagoas tem uma produção superior à dos demais estados do Nordeste, destacando-se como o maior produtor de açúcar e álcool da região (LIMA, 1997; CONAB, 2015).

Os principais produtos derivados do processamento industrial da cana-de-açúcar são o açúcar e o álcool, já os subprodutos são principalmente o bagaço, utilizado como fonte de energia, forragem animal e até mesmo produção de papel, além da vinhaça e da torta de filtro, destinadas para a produção de fertilizantes e nutrição animal (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011). Outro subproduto que vem ganhando destaque mundial é o plástico verde produzido a partir do etanol da cana-de-açúcar, matéria-prima renovável, além de capturar e fixar o gás carbônico da atmosfera durante a sua produção (BRASKEM, 2015).

A cultura da cana-de-açúcar expande suas fronteiras a cada ano por todo o território nacional e com isso aumenta, em proporções gigantescas, a quantidade de biomassa que será aproveitada pelo homem, para a produção de açúcar e álcool, e também por artrópodes, que terão alimento em abundância. Nessa cultura, as pragas que ocorrem com frequência são as dos gêneros *Diatraea* (Lepidoptera: Crambidae) e *Mahanarva* (Hemiptera: Cercopidae), e a subespécie *Telchin licus licus* (Drury, 1773) (Lepidoptera: Castniidae) (PINTO; GARCIA; OLIVEIRA, 2006).

A broca comum, *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae), é considerada a mais importante praga da lavoura canavieira, uma vez que o caráter contínuo e sua extensão disponibilizam ao lepidóptero uma grande abundância de alimentos. Além disso, aloja-se no interior do colmo da cana-de-açúcar, ficando protegida da ação de inseticidas e do combate mecânico, sendo controlada na fase de lagarta, pelo ataque do seu inimigo natural

Cotesia flavipes (Cameron, 1891) (Hymenoptera: Braconidae) (MACEDO; BOTELHO, 1988).

O manejo das culturas baseado no uso do silício como indutor de resistência é um método limpo e sustentável, com um grande potencial para diminuir o uso de agrotóxicos e aumentar a produtividade através de uma nutrição mais equilibrada e fisiologicamente mais eficiente, o que significa plantas mais vigorosas e produtivas, devido principalmente à redução do ataque de pragas e doenças (LIMA-FILHO, 2009).

Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do silício, aplicado em diferentes doses na variedade de cana-de-açúcar SP791011, no desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, na biologia e no comportamento de *D. saccharalis*, bem como seu efeito indireto na biologia e parasitismo do seu inimigo natural *C. flavipes*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura da cana-de-açúcar

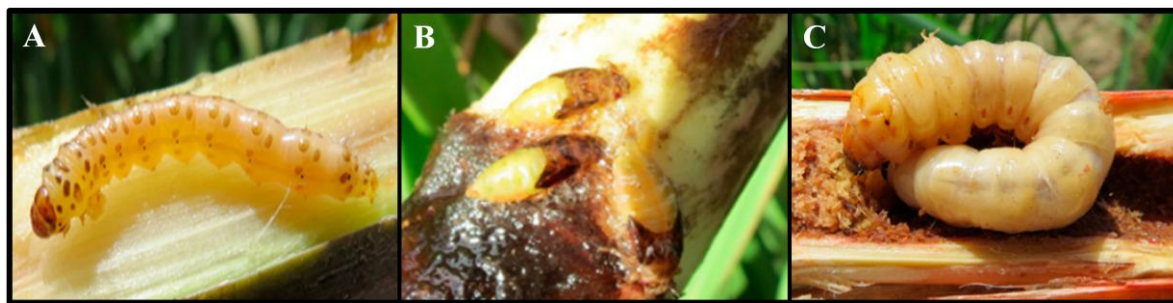
A cana-de-açúcar foi descrita por Linnaeus, em 1753, que a classificou como *Saccharum officinarum* e *Saccharum spicatum*, pertencentes à família Poaceae. É originária da Nova-Guiné e foi levada para o sul da Ásia onde inicialmente foi usada na forma de xarope. A primeira evidência do açúcar em sua forma sólida, data do ano 500, na Pérsia (MOZAMBANI et al., 2006).

No Brasil, a cultura foi introduzida em 1532 por Martin Afonso de Souza (FERNANDES, 1990). Devido às condições climáticas e pedológicas favoráveis, a cultura se expandiu em engenhos pelo litoral do país, foi evoluindo e atualmente o Brasil é o maior produtor mundial com 721 milhões de toneladas, seguido pela Índia (361 milhões de toneladas), China (123 milhões de toneladas), Tailândia (98 milhões de toneladas) e Paquistão (58 milhões de toneladas) (FAO, 2012).

Depois de enriquecer substancialmente a culinária mundial e servir de matéria prima para a produção de bebidas alcoólicas, o etanol derivado da cana-de-açúcar, foi consagrado como combustível limpo e renovável, pois está fortemente associado à matriz energética, inclusive na co-geração de eletricidade, além disso, promete uma nova geração de plásticos “verdes” e biodegradáveis. A cana-de-açúcar pode ser considerada uma das maiores conquistas da nação brasileira (MIRANDA, 2008).

Apesar da facilidade de adaptação ao clima do Brasil, a cultura da cana-de-açúcar enfrenta uma série de problemas fitossanitários, que diminuem a produção e a produtividade, acarretando em prejuízo econômico para os produtores (BOIÇA JR.; LARA; BELLODI, 1997). Dentre os principais fatores limitantes aparece a incidência de insetos-praga, que podem atacar os plantios durante os seus vários estágios de desenvolvimento, destacando-se dentre eles, as brocas comuns dos gêneros *Diatraea* (Lepidoptera: Crambidae) (Figura 1A), as cigarrinhas do gênero *Mahanarva* (Hemiptera: Cercopidae) (Figura 1B) e a broca gigante, *Telchin licus licus* (Drury, 1770) (Lepidoptera: Castniidae) (Figura 1C) que causam sérios danos em todas as regiões canavieiras do país (MENDONÇA et al., 1996).

Figura 1. Principais pragas da cana-de-açúcar. A- broca comum; B- Cigarrinha; e C- broca gigante.



Fonte: GARCIA, 2013.

Práticas culturais que aumentam o grau de resistência das plantas estão sendo cada vez mais utilizadas no Manejo Integrado de Pragas (MIP), podendo auxiliar no controle de insetos-praga. A aplicação do silício pode constituir uma alternativa viável, principalmente em plantas da família Poaceae (gramíneas), devido à sua grande capacidade em acumular esse mineral (EPSTEIN, 1994, MARSCHNER, 1995).

2.2 Broca comum da cana-de-açúcar *Diatraea saccharalis*

A broca comum, *D. saccharalis*, ocorre em todo o Brasil se alimentando não somente da cana-de-açúcar, mas também de outras poáceas, como o milho (*Zea mays* L.), o sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), o arroz (*Oriza sativa* L.) e de plantas selvagens com caules mais grossos. Outra espécie que ocorre no Brasil é *D. flavipennella*, tendo sido registrada no Espírito Santo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e nos Estados do Norte e Nordeste (PINTO; GARCIA; OLIVEIRA, 2006).

O adulto de *D. saccharalis* é uma mariposa com as asas anteriores de coloração amarelo-palha, com manchas escuras e asas posteriores esbranquiçadas. Os machos se diferenciam das fêmeas por serem de menor tamanho e apresentarem maior pigmentação nas asas, além de possuírem cerdas no último par de pernas. Os adultos possuem asas em forma de “V” invertidos quando fechadas e sua longevidade é de aproximadamente cinco dias. Para realizar a cópula, as fêmeas liberam um feromônio atrativo para os machos e, posteriormente depositam cerca de 200 a 400 ovos em forma de escama, os quais possuem formato oval e achatado. Cada postura apresenta cerca de doze ovos (BOTELHO; MACEDO, 2002).

As lagartas recém-eclodidas alimentam-se, inicialmente, do parênquima das folhas, convergindo, a seguir, para a bainha; depois da primeira ecdisse, penetram na parte mais mole

do colmo, abrindo galerias transversais e longitudinais. Ao atingirem o seu completo desenvolvimento, medem cerca de 25 mm de comprimento, possuem coloração amarelo-pálida e cabeça marrom. Fazem então um orifício para o exterior fechando-o com fios de seda e serragem, passando à fase de pupa, de coloração castanha. O adulto sai pelo orifício feito anteriormente pela lagarta (GALLO et al., 2002).

Segundo Mendonça et al. (1996), o ciclo biológico de *D. saccharalis* varia de 50 a 62 dias (ovo de 4 a 8 dias; lagarta 40 dias; pupa de 6 a 14 dias e longevidade de adultos de 7 dias), podendo ocorrer de 3 a 4 gerações por ano.

Os danos causados pelas lagartas de *D. saccharalis* podem ser classificados em diretos e indiretos. Os danos diretos são decorrentes da alimentação da lagarta, que abre galerias no colmo, ocasionando perda de peso da planta, enraizamento aéreo, brotações laterais e morte das gemas. Quando a lagarta faz galerias transversais, a cana-de-açúcar fica mais suscetível ao acamamento pelo vento. Em plantas novas, o ataque da broca comum provoca o secamento dos ponteiros, sintoma conhecido como “coração morto”. Os danos indiretos são provocados por fungos, principalmente *Fusarium moniliforme* Sheldon e *Colletotrichum falcatum* Went, que penetram através dos orifícios e galerias feitos pela broca comum, causando a inversão da sacarose e o sintoma conhecido como podridão vermelha (GALLO et al., 2002).

2.3 Controle biológico de *Diatraea saccharalis* com *Cotesia flavipes*

O controle de *D. saccharalis* com uso de inseticidas químicos sintéticos foi intensamente testado, porém os resultados não foram significativos (DEGASPARI; BOTELHO; MACEDO, 1981), em virtude do hábito do inseto de permanecer no interior do colmo durante maior parte do seu desenvolvimento (MENESES; HIDALGO, 2000), e por este motivo, o controle biológico é o mais recomendável (LISSON et al., 2005).

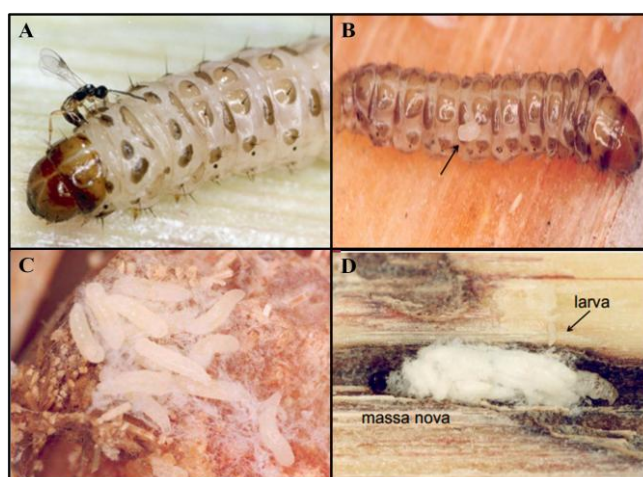
Sendo assim, foi introduzido em 1974 no estado de Alagoas o parasitoide de larvas *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891) (Hymenoptera: Braconidae), procedente da República de Trinidad e Tobago (situada no sudeste da América Central) e multiplicado no laboratório do extinto Programa Nacional do Melhoramento da Cana-de-açúcar (PLANALSUCAR), permitindo o controle efetivo da praga pelo parasitoide (MENDONÇA-FILHO, 1983). Esse ainda é considerado o maior programa de controle biológico do mundo (NAVA; PINTO; SILVA, 2009).

O endoparasitoide gregário *C. flavipes* com desenvolvimento holometabólico de aproximadamente 20 dias (CAMPOS-FARINHA; CHAUD-NETTO; GOBBI, 2000), reproduz-se sexualmente ou por partenogênese arrenótoca, ou seja, as fêmeas fecundadas depositam ovos fertilizados que dão origem a descendentes do sexo feminino e os ovos não fertilizados originam machos (VETORELLI; MASCHIO; ALMEIDA, 1999).

O mecanismo utilizado pelos parasitoides, para localizar as lagartas no campo, é através da percepção dos compostos voláteis (aleloquímicos) emitidos pelas plantas atacadas (alomônios), bem como pelos emitidos nas fezes das lagartas (caiomônios) (NGI-SONG; OVERHOLT, 1997). O contato com as fezes do hospedeiro induz o parasitoide a procurá-lo, reduzindo o ritmo de locomoção e tateamento das fezes com as antenas (BOTELHO; MACEDO, 2002).

O parasitismo ocorre quando a fêmea de *C. flavipes* introduz o ovipositor na lagarta de *D. saccharalis*, depositando os ovos no interior da mesma (Figura 2A). Após a eclosão, as larvas do endoparasitoide se alimentam do interior da broca comum, migrando para fora do corpo do hospedeiro no último estágio larval (Figura 2B), em seguida tecem casulos de seda (Figura 2C) passando para a fase de pupa formando uma massa branca (Figura 2D) de onde emergem os adultos (PINTO; GARCIA; OLIVEIRA, 2006).

Figura 2. Parasitismo por *Cotesia flavipes* em lagartas de *Diatraea saccharalis*. A - Fêmea de *C. flavipes* introduzindo o ovipositor em *D. saccharalis*; B - Larvas de *C. flavipes* migrando para fora do corpo do hospedeiro no último estágio larval; C - Larvas de *C. flavipes* tecendo casulos de seda; e D - Massa de pupas de *C. flavipes* sobre lagartas de *D. saccharalis*.



Fonte: (OLIVEIRA, 2014).

Os adultos de *C. flavipes* medem aproximadamente 4 mm de comprimento e são de coloração preta com asas brancas hialinas. Apresentam dimorfismo sexual, com as fêmeas possuindo antenas menores que as dos machos (BOTELHO; MACEDO, 2002).

Após a introdução desse parasitoide no Brasil, a intensidade de infestação por *D. saccharalis* caiu de 11% para 2,8%, sendo liberados 14,8 bilhões de vespas em 2,44 milhões de hectares com um custo total de R\$ 88,4 milhões. Esse procedimento contribuiu para que se deixasse de aplicar 700.000 L de inseticidas contra a praga (POLANCZYK et al., 2004).

Por outro lado, a produção do parasitoide *C. flavipes* apresenta um custo relativamente elevado, pois é necessário criá-lo sobre seu hospedeiro, o que pode ser um fator limitante (LV et al., 2011). Além disso, em determinadas situações o controle pode não ser tão eficiente, particularmente quando é baixo o consumo de ovos por predadores, aumentando assim a população de lagartas da broca comum, havendo necessidade de se utilizar outros métodos de controle (BOTELHO et al., 1999).

No Brasil, não existem instituições que controlem a qualidade da produção de insetos, causando uma preocupação com relação à qualidade dos inimigos naturais produzidos em laboratórios e liberados no campo. A qualidade do hospedeiro também deve ser analisada já que a capacidade de competição do inimigo natural criado em biofábricas é afetada com relação aos que vivem na natureza, caso seu hospedeiro seja de má qualidade (PARRA, 1992). A Organização Internacional para o Controle Biológico (IOBC) divulga protocolos para avaliar a qualidade de diversas espécies de insetos produzidos em criações massais (VAN LENTEREN, 2003), e a maior dificuldade no controle de qualidade é a detecção da perda da variabilidade genética em insetos criados massalmente (PREZOTTI; PARRA, 2002).

Recentemente, um dos principais problemas nas criações de *C. flavipes* tem sido a redução das criações de *D. saccharalis* pelo patógeno *Nosema* sp. (Microspora: Nosematidae). Esse patógeno foi capaz de alterar negativamente os parâmetros biológicos do hospedeiro e do parasitoide, além de diminuir a capacidade de localização do hospedeiro, quando comparado com indivíduos sadios, em estudos conduzidos com olfatômetro (SIMÕES, 2012).

Pelos motivos citados acima, e sendo o controle biológico de *D. saccharalis* o método mais utilizado, torna-se necessária a busca por novos métodos de controle dessa praga que possam ser utilizados no manejo integrado.

2.4 Silício: elemento benéfico

A comprovação da essencialidade do silício é muito difícil de ser obtida devido à sua abundância na biosfera (MENDES; SOUZA; MACHADO, 2011), por isso esse nutriente é classificado como elemento benéfico ou útil (MARSCHNER, 1995).

De acordo com Liang et al. (2007), a essencialidade do silício em plantas superiores pode ser reconhecida em pesquisas futuras de acordo com a nova definição de essencialidade proposto por Epstein e Bloom (2006). Esses autores propuseram que um elemento é essencial quando satisfaz a um ou a ambos dos seguintes critérios:

- a) O elemento é parte de uma molécula que é um componente intrínseco da estrutura ou do metabolismo da planta;
- b) A planta pode ser tão severamente prejudicada quando privada do elemento, que exibe anormalidades em seu crescimento, desenvolvimento ou reprodução, isto é, em sua performance, em comparação com as plantas menos privadas.

Mesmo que ainda não seja considerado um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, o silício vem sendo aplicado visando, principalmente, ao aumento da resistência de plantas a insetos-praga e doenças. Além dessas vantagens, o silício também influencia nos fatores abióticos como estresse salino, toxicidade a metais, déficit hídrico, altas temperaturas e geadas (FENG, 2004). Nas raízes, esse nutriente se polimeriza em sílica, reduzindo a captação de manganês pela planta, evitando assim, estresses causados pelo manganês (ZSOLDOS et al., 2003). As plantas adubadas com silício ainda são capazes de reduzir a toxidez por alumínio (DATNOFF; SNYDER; KORNDÖRFER, 2001).

De acordo com Epstein e Bloom (2006) uma afirmação generalizada de “essencial” ou “não essencial” não pode ser feita sobre o silício. Chen e Lewin (1969) comprovaram a essencialidade desse nutriente para as plantas da família Equisetaceae, cujas espécies são conhecidas popularmente por “cavalinha”.

As principais plantas beneficiadas pelo silício, com elevação na produção, são as gramíneas, dentre as quais podemos citar o milho, arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milheto (*Pennisetum glaucum* L., Poaceae), aveia (*Avena* spp., Poaceae) e trigo (*Triticum vulgare* Vill, Poaceae) (KORNDÖRFER, 2006).

2.4.1 Silício no solo e na planta

A crosta terrestre contém silício em quantidades inferiores apenas às de oxigênio, e na solução do solo, é absorvido pelas plantas na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

A principal fonte natural de silício no solo é o feldspato que, ao sofrer o processo de intemperização, resulta em argilas e libera ácido silícico, em grande parte na forma não dissociada, que é a forma de absorção do silício pelas plantas (EXLEY, 1998). Outras fontes de silício para o solo são: decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, liberação do silício dos óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio, adição de fertilizantes e água de irrigação (LIMA FILHO; GROTHGE-LIMA; TSAI, 1999). Porém, as principais fontes de silício usadas na agricultura são os silicatos de cálcio e magnésio, oriundos da siderúrgica, que também possuem características corretivas (DEMATTE, 2011).

Devido à baixa solubilidade do silício nos solos, pouco dele está disponível para as plantas (ESSER, 2002) e com a intemperização dos minerais, o silício forma na solução dos solos, sob pH abaixo de 9,0, o ácido monossilícico, o qual pode ser adsorvido por óxidos de ferro e de alumínio (FAQUIN, 1994).

O silício é transportado como ácido monossilícico no xilema e, distribui-se pela planta de acordo com a taxa transpiratória do vegetal. Essa distribuição é uniforme e depende da espécie que acumula esse nutriente, como a cana-de-açúcar (PRADO; FERNANDES; NATALE, 2003) e o arroz, onde 90% do silício encontra-se na parte aérea dessas plantas depositado nas lâminas foliares, bainhas foliares, colmos, cascas e raízes (KORNDÖRFER et al., 1999).

O conteúdo de silício nas plantas é proporcional à disponibilidade desse nutriente no solo, ou seja, o aumento da disponibilidade de silício no solo é normalmente acompanhado por um acréscimo no conteúdo nas plantas, principalmente nas gramíneas. O silício incrementa também as espécies não acumuladoras como a soja (*Glycine hispida* Max., Fabaceae), feijão (*Phaseolus* spp.), morango (*Fragaria vesca* L., Rosaceae) e pepino (*Cucumis sativus* L., Cucurbitaceae) (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995).

O aumento dos teores de silício nas plantas pode trazer vários benefícios, como o aumento do crescimento e produtividade de várias culturas, pois deixa as folhas mais eretas com diminuição do autossombreamento e como consequência, aumenta a capacidade de absorver a luz solar e de realizar fotossíntese, favorecida pelas mudanças na estrutura das

mesmas, além disso, aumento da resistência ao ataque de pragas e doenças e regulação da taxa de transpiração (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995, EPSTEIN; 1994).

A adubação com silício apresenta efeito residual e, se aplicado no plantio da cana-de-açúcar afeta a produtividade não apenas da cana-planta, como da soqueira. Anderson, Snyder e Martin (1991) apontam significativo efeito residual de silicato de cálcio no solo, ao verificarem uma queda na produtividade da cana soca, em relação à cana planta de até 45%, quando a cana-planta não foi adubada por silício, e de apenas 28%, quando a cana-planta recebeu adubação silicatada.

2.4.2 Silício de escórias siderúrgicas

A grande transformação na agricultura brasileira tem se caracterizado por aumentos da produção, área plantada, exportação e quantidade de tecnologias aplicadas. No entanto, essa produção de alimentos cada vez mais crescente deve ser baseada na sustentabilidade, tanto econômica como ambiental, com a produção de alimentos sem impactos negativos ao meio ambiente, ao trabalhador rural e ao consumidor, além disso, sem onerar os custos de produção. Uma maneira de se obter essa sustentabilidade é através do aproveitamento de resíduos, como por exemplo, o uso dos silicatos (agrosilício) que são fontes de silício e estão sendo utilizados no manejo nutricional das lavouras com grandes benefícios às plantas (LIMA FILHO, 2009).

A atividade industrial gera resíduos sólidos que podem vir a representar sérios riscos ao meio ambiente e ao bem-estar das pessoas. Na fundição de ferro-gusa e aço, há uma grande produção de resíduos sólidos, dentre estes, podemos destacar as escórias, cuja composição química varia de acordo com a matéria-prima utilizada para a fundição, destacando-se nessas escórias, a grande concentração de óxidos de cálcio, magnésio, silício, ferro e manganês (PRADO; FERNANDES, 2001).

Uma escória pode ser empregada na agricultura desde que apresente características corretivas e/ou fertilizantes e não contamine o solo e os mananciais hídricos (ARAÚJO, 2010). As principais características de uma fonte de silício para fins de uso na agricultura devem possuir pronta disponibilidade para as plantas, baixo custo, alto conteúdo de silício solúvel, propriedades físicas adequadas, facilidade para aplicação mecanizada, ausência de metais pesados e relações equilibradas de cálcio e magnésio (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2003).

A utilização do silício no Brasil tem sido difundida nos últimos anos, principalmente após sua inclusão como micronutriente na legislação de fertilizantes pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) por meio do decreto nº 4.954 de 2004 (BRASIL, 2004). A tecnologia baseada no uso do silício é limpa e sustentável, com potencial para diminuir o uso de agrotóxicos e aumentar a produtividade por meio de uma nutrição mais equilibrada e fisiologicamente mais eficiente (LIMA FILHO, 2009).

2.4.3 Silício como indutor de resistência

Conforme Vendramim (2008) existem três tipos de resistência de plantas a insetos: antixenose, antibiose e tolerância. A antixenose é verificada quando uma planta ou variedade é menos utilizada pelo inseto que outra para alimentação, oviposição ou abrigo, estando nas mesmas condições. O efeito é manifestado no comportamento do inseto, repercutindo, principalmente, em redução da atratividade e aceitação do substrato, refletindo-se na redução do número de ovos e da área consumida. A antibiose caracteriza-se pelo efeito adverso da planta sobre a biologia do inseto, provocando alterações no seu desenvolvimento. Os principais efeitos da antibiose são: mortalidade das formas jovens, mortalidade na transformação para adulto, redução do tamanho e peso dos indivíduos, redução da fecundidade, alteração da proporção sexual e alteração no tempo de vida. A tolerância refere-se à capacidade da planta em suportar o ataque do inseto através da regeneração dos tecidos vegetais destruídos, emissão de novos ramos ou perfilhos ou por outro meio, desde que não ocasione perda na qualidade e quantidade da produção.

Essas defesas das plantas podem ser constitutivas ou induzidas. Na defesa constitutiva, a planta expressa resistência de forma contínua e não depende da presença ou da ação de herbívoros; enquanto que na defesa induzida, a resistência se expressa somente após a injúria, podendo atuar diretamente sobre os herbívoros ou seus inimigos naturais. Em alguns casos, essas respostas podem levar alguns minutos ou horas, em outros, elas precisam de uma nova estação de crescimento para exibirem resistência. Ambas podem ocorrer em conjunto numa mesma planta (PRICE; TSUCHIYA; ARATA, 2001; MELO; SILVA-FILHO, 2002).

Segundo Coley e Barone (1996), herbívoros provocam numerosos efeitos negativos na capacidade reprodutiva e de crescimento das plantas, reduzindo sua habilidade competitiva. Dessa forma, as plantas desenvolvem características morfológicas e químicas capazes de inibir o ataque dos insetos herbívoros ou até mesmo selecionando herbívoros favoráveis,

como aqueles que vão atuar na defesa da planta (YOUNG; STUBBLEFIELD; ISBELL, 1997).

Em geral, alterações que proporcionam uma maior dureza à folha, através de um maior desenvolvimento da espessura foliar, da epiderme e do parênquima paliçádico, atuam como defesa contra a ação de herbívoros (LUCAS et al., 2000).

Harborne (1993) dividiu as defesas das plantas em físicas ou morfológicas e químicas. Entre os mecanismos de defesa física, estão os depósitos cuticulares, uma maior espessura da epiderme, abundância de cristais, tricomas, fibras e à dimensão e disposição destas estruturas e tecidos na folha. Já as defesas químicas, são representadas pela presença de metabólitos secundários com propriedades tóxicas ou repelentes que reduzem a probabilidade de dano aos tecidos da planta por alterar a palatabilidade para os animais.

Os metabólitos secundários são divididos em três grandes classes com base em sua estrutura química: os compostos nitrogenados, os terpenoides e os fenólicos. Entre os compostos nitrogenados estão os alcaloides, aminoácidos não-protéicos e glicosídeos cianogênicos. Os terpenoides incluem óleos essenciais, triterpenos, saponinas e glicosídeos cardioativos. Entre os compostos fenólicos estão as ligninas, flavonoides e os taninos (CARVALHO; GOSMANN; SCHENKEL, 2007). Essas substâncias presentes nas plantas estão envolvidas em mecanismos que permitem o ajuste das plantas ao meio ambiente (SANTOS, 2004) e com função de defesa ou atração de insetos, determinada pelas necessidades ecológicas (RHODES, 1994).

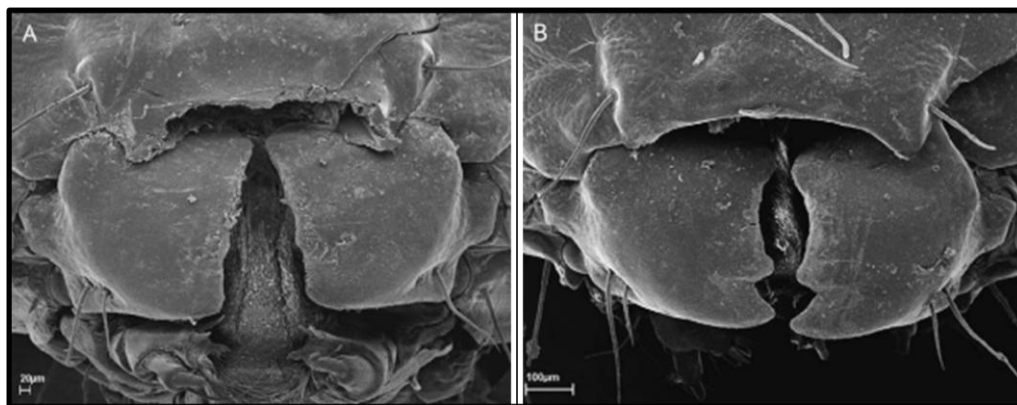
A indução de resistência de plantas a insetos-praga e doenças pela adubação silicatada vem sendo bastante estudada e utilizada na agricultura, levando à deposição de silício nas plantas e conseqüentemente formando uma barreira mecânica capaz de reforçar a resistência das mesmas ao ataque de insetos-praga (LIANG; ADANDONO, 2005).

As plantas tratadas com silício também desencadeiam mecanismos químicos naturais de defesa, como por exemplo, a produção de compostos fenólicos, quitinases, peroxidases e acúmulo de lignina (GOMES et al., 2005), o que poderia interferir no crescimento e desenvolvimento de insetos-praga.

Korndörfer (2006), estudando plantas de *Davilla elliptica* St. Hill (Dilleniaceae) adubadas com silicato de cálcio, constatou que as folhas dessa planta ficaram mais duras e com maior número de tricomas, devido ao acúmulo de silício, diminuindo, assim, a herbivoria dos insetos.

Na África do Sul, plantas de cana-de-açúcar adubadas com silicato de cálcio, interferiram na alimentação de *Eldana saccharina* Walker, 1865 (Lepidoptera: Pyralidae) danificando suas mandíbulas devido à presença de cristais de silício no tecido vegetal, dificultando a alimentação dessa praga, que, na fase de lagarta, possui mandíbulas bastante frágeis (KVEDARAS et al., 2009) (Figura 3). Trabalhos conduzidos por Keeping e Meyer (2000) nesse mesmo país e com a mesma praga na cana-de-açúcar, mostraram que o silicato de sódio também conferiu resistência à broca. Segundo esses autores, foram observados aumentos significativos no teor de silício nas plantas tratadas e redução significativa dos danos produzidos pela broca e do número de internódios broqueados.

Figura 3: Imagens ilustrativas das mandíbulas de lagartas de *Eldana saccharina*. A – Lagartas alimentadas com cana-de-açúcar adubadas com silicato de cálcio; e B – lagartas alimentadas com cana-de-açúcar sem silicato de cálcio.



Fonte: (KVEDARAS et al., 2009).

O silicato de cálcio também causou reduções significativas no desenvolvimento da mosca-branca *Bemisia tabaci* (Gennadius, 19889) (Hemiptera: Aleyrodidae) (CORREA et al., 2005) e do tripses *Thrips palmi* Karny, 1925 (Thysanoptera: Thripidae) (ALMEIDA et al., 2008).

Goussain et al. (2002) relataram um aumento no canibalismo entre lagartas pequenas e uma maior mortalidade de lagartas de primeiro e sexto ínstar de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) quando foram alimentadas com plantas de milho que receberam silicato de sódio. Ainda de acordo com os mesmos autores, o acúmulo de silício nas células epidérmicas dificultou a alimentação do inseto, devido ao excessivo desgaste das mandíbulas provocado pelo aumento da rigidez do tecido.

O silicato de sódio no sorgo aumentou a proteção dessas plantas contra o ataque do pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae) (COSTA; MORAES, 2002).

O silicato de potássio teve interferência negativa sobre a população do minador *Liriomyza trifolii* Burgess (Diptera: Agromyzidae) em crisântemo (*Chrysanthemum morifolium* Ramat, Asteraceae) (PARRELLA; COSTAMAGNA; KASPI; 2007). Wangen (2007), pesquisando o efeito de duas aplicações foliares do silicato de potássio em cigarrinhas das raízes *Mahanarva fimbriolata* (Stål, 1854) (Hemiptera: Cercopidae) na cana-de-açúcar, concluiu que a adubação silicatada apresenta eficiência de controle semelhante a dos tratamentos químico (inseticida thiamethoxan) e biológico (*Metarhizium anisopliae* (Metsch) Sorokin).

2.4.4 Influência do Silício na interação tritrófica

No Manejo Integrado de Pragas, o uso de táticas que visem diminuir a densidade populacional do inseto-praga e que não afetem a sobrevivência e o desenvolvimento biológico de inimigos naturais é primordial.

Levando em consideração as interações tritróficas (inseto-planta-inimigo natural), a classificação da resistência é dividida em duas categorias: intrínseca e extrínseca. Quando a planta se defende da praga utilizando mecanismos próprios (morfológicos ou químicos), a resistência é dita intrínseca; enquanto a extrínseca ocorre quando a planta se beneficia dos inimigos naturais, influenciando sobre eles e atuando, portanto, de forma indireta sobre a praga (LARA, 1991).

O silício pode melhorar a defesa da planta hospedeira através do terceiro nível trófico, aumentando a atração dos inimigos naturais, beneficiando, assim, o controle biológico pela indução de resistência provocada por diferentes voláteis, ou ainda o aumento da liberação desses, produzidos pela planta atacada (REYNOLDS; KEEPING; MEYER, 2009).

Parasitoides e predadores utilizam sinais químicos emitidos pelas plantas atacadas (compostos voláteis) para localizar seus hospedeiros e presas, respectivamente. Isto garante um maior sucesso no forrageamento pela economia de tempo e energia (BRUINSMA et al., 2008; MORAES et al., 2009).

Um estudo realizado para observar o efeito indireto da aplicação de silício em plantas de trigo no desenvolvimento de dois importantes inimigos naturais do pulgão-verde

Schizaphis graminum (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae), *Chrysoperla externa* (Hagen, 1862) (Neuroptera: Chrysopidae) e *Aphidius colemani* Viereck, 1912 (Hymenoptera: Aphididae), foi realizado por Moraes et al. (2004). Esses autores verificaram que tanto o predador quanto o parasitoide não sofreram nenhuma alteração na sua biologia, quando se alimentaram de pulgões provenientes de plantas tratadas com silício.

Todavia, a resistência a insetos e o controle biológico podem ser antagonistas, e por este motivo, sua interação deve ser bem estudada antes de serem colocadas em prática no campo.

REFERÊNCIAS

Almeida, G. F. et al. Calcium silicate and organic mineral fertilizer applications reduce phytophagy by *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) on egg plants (*Solanum melongena* L.). **Interciência**, v. 33, p. 835-838, 2008.

Anderson, D. L.; Snyder, G.H.; Martin, F.G. Multi-year response of sugarcane to calcium silicate lag on Everglade Histosols. **Agronomy Journal**, v. 83, p.870-874, 1991.

Araújo, L. S. **Escórias siderúrgicas e seus efeitos sobre a produtividade, qualidade industrial e resistência da cana-de-açúcar à doenças e à broca do colmo**. 2010. 71f. Dissertação (Mestrado em Solos) - Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2010.

Boiça Jr., A. L.; Lara, F. M.; Bellodi, M. P. Influência de variedades de cana-de-açúcar, incorporadas em dieta artificial, no desenvolvimento de *Diatraea saccharalis* (fabr.) e no seu parasitismo por *Cotesia flavipes* (Cam.). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 26, n. 3, p. 537-542, 1997.

Botelho, P. S. M.; Macedo, N. *Cotesia flavipes* para o controle de *Diatraea saccharalis*. In: Parra, J. R. P.; Botelho, P. S. M.; Corrêa -Ferreira, B. S.; **Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores**,. São Paulo: Manole, 2002. p. 409-425.

Botelho, P. S. M. et al. 1999. Associação do parasitóide de ovos *Trichogramma galloi* Zucchi (Hymenoptera: Trichogrammatidae) e do parasitóide larval *Cotesia flavipes* (Cam.) (Hymenoptera: Braconidae) no controle de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) (Lepidoptera: Crambidae) em cana-de-açúcar. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 28, p. 491-496. 1999.

BRASIL. Decreto n. 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o regulamento da Lei 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 15 jan. 2004.

BRASKEM. Empresa Química e Petroquímica Brasileira. Disponível em: <<http://www.braskem.com.br/site.aspx/PE-Verde-Produtos-e-Inovacao>>. Acesso em 26 jan. 2015.

Bruinsma, M. et al. Differential effects of jasmonic acid treatment of *Brassica nigra* on the attraction of pollinators, parasitoids, and butterflies. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 128, p. 109-116, 2008.

Campos-Farinha, A. E. C.; Chaud-Netto, J.; Gobbi, N. Biologia reprodutiva de *Cotesia flavipes* (Cameron) (Hymenoptera: Braconidae). IV. Discriminação entre lagartas parasitadas e não parasitadas de *Diatraea saccharalis* Fabricius (Lepidoptera:Pyralidae), tempo de desenvolvimento e razão sexual dos parasitoides. **Arquivos do Insituto Biológico**, v. 67, n. 2, p. 229-234, 2000.

Carvalho, J. C. T.; Gosmann, G.; Schenkel, E. P. Compostos fenólicos simples e heterosídicos. 6. ed. In: Simões, C. M. O. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Porto Alegre: UFRGS/UFSC, Florianóp 2007. p. 519-535.

Cheavegatti-Gianotto, A. et al. Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): A reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. **Tropical Plant Biology**, v. 4, p. 62-89, 2011.

Chen, C. H.; Lewin, J. Silicon as a nutrient element for *Equisetum arvense*. **Canadian Journal of Botany**, v. 47, p. 125-131, 1969.

Coley, P. D.; Barone, J. A. Herbivory and plant defenses in tropical forests. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 27, p. 305-335, 1996.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_13_09_39_02_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_15-16.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2015.

Correa, R. S. B. et al. Silicon and acibenzolar-S-methyl as resistance inducers in cucumber, against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 3, p. 429-433, 2005.

Costa, R. R.; Moraes, J.C. Resistência induzida em sorgo por silicato de sódio e infestação inicial pelo pulgão-verde *Schyzaphis graminum*. **Revista Ecosystema**, v. 27, n. 1/2, p. 37-39, 2002.

Datnoff, L. E.; Snyder, G. H.; Korndörfer, G. H. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: Datnoff, L. E.; Snyder, G. H.; Korndorfer, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p.17-39.

Degaspari, N.; Botelho, P. S. M.; Macedo, N. Controle químico de *Diatraea saccharalis* em cana-de-açúcar, na região centro sul do Brasil. **Planalsucar**, Boletim Técnico, 1981. v. 3, n. 6. p.5-16.

Demattê, J. L. I. et al. Uso de silicatos em cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas - IPNI**, Piracicaba, SP, 2011. n. 133, p.7-12.

Esser, K. B. Can the application of fused calcium silicate to rice contribute to sustained yield and higher pest resistance? **Outlook on Agriculture**, v. 31, n. 3, p. 199-201, 2002.

Epstein, E. The anomaly of silicone in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 91, n. 1, p. 11-17, 1994.

Epstein, E.; Bloom, A. J. **Nutrição Mineral de Plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

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

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAOSTAT. 2012. Disponível em: < <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> > Acesso em: 15 jan. 2014.

Faquin, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 227p.

Fernandes, A. J. **Manual da cana-de-açúcar**. 2. ed. São Paulo: Livrocere, 1990. p. 196.

Feng, M. J. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 50, n. 1, p. 11-18, 2004.

Gallo, D. et al. **Entomologia Agrícola**, Piracicaba: FEALQ, v.10, 2002, 920p.

Garcia, J. F. Manual de identificação de pragas da cana. Disponível em: <https://www.fmcagricola.com.br/portal/manuais/pragas_cana/files/assets/common/download/publication.pdf> Acesso em 20 de abr. 2015.

Gomes, F. B. et al. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agrícola**, v. 62, n. 6, p. 547-551, 2005.

Goussain, M. M. et al. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.

Harborne J. B. **Introduction to ecological biochemistry**. 4 ed. London: Academic Press, 1993. p.323.

Keeping, M. G.; Meyer, J. H. Increased resistance of sugarcane to *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) with calcium silicate application. **Proceedings of the Annual Congress South African Sugar Technologists Association**, n. 74, p. 221-222, 2000.

Korndörfer, A. P. **A importância do silício nas relações entre herbívoros e *Davilla elliptica* (Dilleniaceae) St. Hill no cerrado**. 2006. 31f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2006.

Korndörfer G. H. et al. Efeito da aplicação de silicato de cálcio em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 623-629, 1999.

Korndörfer G. H.; Datnoff, L.E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas** - INPI, Piracicaba, SP, 1995. n.70, p.1-3.

Korndörfer, G. H.; Pereira, H.S.; Camargo, M.S. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. Instituto de Ciências Agrárias – Universidade Federal de Uberlândia, **Boletim Técnico**, 2003. 53p.

Kvedaras, O. L. et al. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 11, p. 301-306, 2009.

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

Liang, Y. et al. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. **Environmental Pollution**, v.147, p. 422-428, 2007.

Lima, J. P. R. O setor sucro-alcooleiro do Nordeste: evolução recente e a reestruturação possível. In: Workshop sobre avaliação e manejo dos recursos naturais em área de exploração da cana-de-açúcar, Aracaju, 1997. p. 9-32.

Lima-Filho, O. F.; Grothge-Lima, M.T.; Tsai, S.M. O silício na agricultura. **Informações Agronômicas** - INPI, Piracicaba, SP, 1999. v.87, n.3, p. 1-7.

Lima-filho, O. F. **Buscando maior sustentabilidade na agricultura com silicatos**. Informações Tecnológicas – Infobibos, Piracicaba, SP, 2009. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/Silicatos/index.htm>. Acesso em 13 abr. 2014.

Lisson, S. N. et al. The historical and future contribution of crop physiology and modeling research to sugarcane production systems. **Field Crops Research**, v. 92, p. 321-335, 2005.

Lucas, P. W. Mechanical defences to herbivory. **Annals of Botany, Australi**, v. 86, n. 5, p. 913-920, 2000.

LV, J. et al. Impact of *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) as an augmentative biocontrol agent for the sugarcane borer (Lepidoptera: Crambidae) on rice. **Biological Control**, v. 56, n. 2, p. 159-169, 2011.

Macedo, N.; Botelho, P. S. M. Controle integrado da broca da cana-de-açúcar *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera, Pyralidae). **Brasil Açucareiro**, v. 162, n. 2, p. 2-11, 1988.

Marschner, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.

Melo, M. O.; Silva-Filho, M. C. Plant-insect interaction: an evolutionary arms race between two distinct defense mechanisms. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 14, p. 71-81, 2002.

Mendes, L. S.; Souza, C. H. E.; Machado, V. J. Adubação com silício: influência sobre o solo, planta, pragas e patógenos. **Revista do Centro Universitário de Patos de Minas**, v. 2, p. 51-63, 2011.

Mendonça, A. F. et al. As brocas da cana-de-açúcar (Lepidoptera: Pyralidae). In: Mendonça, A. F. (Ed.). **Pragas da Cana-de-açúcar**. Maceió: Insetos & Cia, 1996. p. 51-82.

Medonça-Filho, A. F. **Fenologia de *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794) e *D. flavipennella* Box, 1931 (Lepidoptera: Pyralidae) em duas regiões canavieiras do estado de Alagoas, Brasil**. 1983. 165f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

Meneses, A.; Hidalgo, H. **Manejo Integrado de barrenadores en caña de azúcar**. Guatemala: CENGICANA. 2000. 26 p.

Miranda, J. R. **História da cana-de-açúcar**. Campinas, SP: Komedi, 2008. p168.

Moraes, M. C. B. et al. Attraction of the stink bug egg parasitoid *Telenomus podisi* to defence signals from soybean activated by treatment with cis-jasmone. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 131, p. 178-188, 2009.

Moraes, J. C. et al. Silicon influence on the tritrophic interaction: wheat plants, the Green Bug *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae), and its natural enemies, *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) and *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae). **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 5, p. 619-624, 2004.

Mozambani, A. E. et al. História e Morfologia da Cana-de-açúcar. In: Segato, S. V. et al. (Org). **Atualizações em Produção de Cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livrocere, 2006. p. 11-12.

Nava, D. E.; Pinto, A. S.; Silva, S. D. A. Controle Biológico da Broca da Cana-de-Açúcar. **Documentos** - Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, 2009. p. 28.

Ngi-Song, A. J.; Overholt, W. A. Host locations and acceptance by *Cotesia flavipes* and *C. sesamiae* (Cameron) (Hymenoptera: Braconidae), parasitoids of African gramineous stemborers: role of frass and other host clues. **Biological Control**, v. 9, n. 2, p. 136-142, 1997.

Oliveira, H. N. Controle biológico de pragas agrícolas: novas tecnologias e controle – BUG: Agentes biológicos. Disponível em:
<http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1257510065.pdf> Acesso em: 15 jul. de 2014.

Parra, J. R. P. Situação atual e perspectivas do controle biológico, através de liberações inundativas, no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, p. 271-279, 1992.

Parrela, M. P.; Costamagna, T.P.; Kaspi, R. The addition of potassium silicate to the fertilizer mix to suppress *Liriomyza leafminers* attacking Chrysanthemums. **Acta Horticulturae**, v. 747, p. 365-369. 2007.

Pinto, A. S.; Garcia, J. F.; Oliveira, H. N. Manejo das principais pragas da cana-de-açúcar. In: Segato, S. V. et al. (Org.). **Atualizações em Produção de Cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livrocere, 2006. p. 257-280.

Polanczyk, R. A. et al. Pragas de cana-de-açúcar x métodos alternativos de controle. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, n. 33, p. 14-17, 2004.

Prado, R. M.; Fernandes, F. M.; Natale, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27 n.2, p. 287-296, 2003.

Prado, R. M.; Fernandes, F. M. Resposta da cana-de-açúcar a aplicação da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 25, n. 1, p. 199-207, 2001.

Prezotti, L.; Parra, J. R. P. Controle de qualidade em criações massais de parasitoides e predadores. In: Parra, J. R. P. et al. **Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores**. São Paulo: Manole, 2002. p.295-307.

Price, W. S.; Tsuchiya, F.; Arata, Y. Time dependence of aggregation in crystallizing lysozyme solutions probed using NMR self-diffusion measurements. **Biophysical Journal**, v. 80, p. 1585-1590, 2001.

Reynolds, O. L.; Keeping, M. G.; Meyer, J. H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. **Annals of Applied Biology**, v. 155, p. 171-186, 2009.

Rhodes, M. J. C. Physiological roles for secondary metabolites in plants: some process, many outstanding problems. **Plant Molecular Biology**, v. 24, p. 1-20, 1994.

Santos, R. I. Metabolismo básico e origem dos metabólitos secundários. In: Simões, C. M. O. et al. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5. ed. Porto Alegre: UFSC/UFSC, 2004, p. 403-434.

Simões, R. A. **Alterações nos parâmetros biológicos de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) e *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) causadas por *Nosema* sp. (Microsporidia: Nosematidae)**. 2012.110f. Tese (Doutorado em Entomologia), Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2012.

Van Lenteren, J. C. Need for quality control of mass-produced biological control agents. In: Van Lenteren, J. C. (Ed.). **Quality control and production of biological control agents: theory and testing procedures**. Wallingford: CABI, 2003. p. 1-18.

Vendramim, J. D. Resistência de plantas a insetos. Portal do Agronegócio. **Documentos** - Embrapa Mandioca e Fruticultura, São Paulo, 2008.

Vetorelli, M. P.; Maschio, L. R.; Almeida, J. C. B. Dados parciais sobre as diferenças entre a razão sexual da prole de *Cotesia flavipes* (Cameron, 1981) (Hymenoptera: Braconidae) em condições laboratoriais, 1999, Resumo. **Anais...** Simpósio de Pesquisas Biológicas. 05 a 07 out. 1999. Disponível em: <<http://www.unirpnet.com.br/Pesquisa/Anais/bio.html>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

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

Young, T. P.; Stubblefield, C.H.; Isbell, L.A. Ants on swollen-thorn acacias: species coexistence in a simple system. **Oecologia**, v. 109, p. 98-107, 1997.

Zsoldos, F. et al. Influence of silicon on aluminum toxicity in common and durum wheats. **Agronomie**, n. 23, p.349-354, 2003.

3 INFLUÊNCIA DO AGROSILÍCIO NO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR E SOBRE ASPECTOS COMPORTAMENTAIS DE *Diatraea saccharalis* (FABRICIUS, 1794) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) E DO PARASITOIDE *Cotesia flavipes* (CAMERON, 1891) (HYMENOPTERA: BRACONIDAE)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do Agrosilício (fonte de silício) aplicado em diferentes doses na variedade de cana-de-açúcar SP791011, com relação: ao desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar infestada por *Diatraea saccharalis*; ao acúmulo de silício no colmo; a massa fresca e seca de folhas; colmos e raízes; à não preferência de oviposição por *D. saccharalis* e ao parasitismo de *D. saccharalis* pelo seu inimigo natural *Cotesia flavipes*. O experimento foi conduzido em telado, sendo avaliado o efeito de quatro tratamentos (0,0, 2,0, 4,0 e 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício). O delineamento experimental foi de blocos casualizados e os dados foram submetidos a análise de variância. Quando os valores de F foram significativos, realizou-se a análise de regressão. Os maiores valores do número de entrenós foram encontrados na testemunha (7,4 entrenós) e para a dose de 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício (8,2 entrenós), ocasionando um incremento de 10,8% no número de entrenós. Comparando-se a testemunha com as plantas que receberam a maior dose de Agrosilício, o número de entrenós brocados, a Intensidade de Infestação (% I.I.) e o número de lagartas encontradas foram inferiores em 69,23%, 71,92% e 100%, respectivamente. A massa fresca de folhas foi maior em plantas adubadas com 2,0 e 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício. O número de ovos de *D. saccharalis* no teste com chance de escolha, em relação à testemunha, foi inferior em 14,58%, 27,72% e 43,44%, respectivamente, para as doses de 2,0, 4,0 e 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício. No teste sem chance de escolha a média do número de ovos foi de 602,33, 556,16, 408,67 e 262,67, respectivamente, para as doses de 0,0, 2,0, 4,0 e 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício. Nesse mesmo teste, o número de posturas também foi reduzido com as doses crescentes do fertilizante. Para o parasitismo por *C. flavipes* em lagartas de *D. saccharalis* alimentadas com cana-de-açúcar, adubadas ou não com o Agrosilício, foram encontrados 16,67% de pupas na testemunha, 8,33% nas plantas adubadas com 2,0 t ha⁻¹ e apenas 5,0% nas plantas adubadas com 4,0 e 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício. Em geral, conclui-se que o Agrosilício foi capaz de reduzir os danos provocados por *D. saccharalis* sem interferir no parasitismo por *C. flavipes*.

Palavras-chave: *Saccharum* spp. Broca comum da cana-de-açúcar. Inimigo natural. Interações. Silício

3 INFLUENCE OF AGROSILÍCIO ON THE VEGETATIVE DEVELOPMENT OF SUGARCANE AND ON THE BEHAVIORAL ASPECTS OF *Diatraea saccharalis* (FABRICIUS, 1794) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) AND ITS PARASITOID *Cotesia flavipes* (CAMERON, 1891) (HYMENOPTERA: BRACONIDAE)

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of Agrosilício (silicon source) applied on different doses at the sugarcane variety SP791011, with respect to: the vegetative development of sugarcane infested by *Diatraea saccharalis*; silicon accumulation in the stem; the fresh mass and dry leaves; stems and roots; non-preference for oviposition of *D. saccharalis*, and parasitism of *D. saccharalis* for its natural enemy *Cotesia flavipes*. The experiment was conducted in a greenhouse, being evaluated the effect of four treatments (0.0, 2.0, 4.0 and 6.0 t ha⁻¹ Agrosilício). The experimental design was the randomized blocks with data submitted to variance analysis. When F values were significant, regression analysis was carried out. The highest values of the number of internodes were found in the control treatment (7.4 internodes) and for the dose of 6.0 t ha⁻¹ Agrosilício (8.2 internodes), inducing to an increase of 10.8% on the number of internodes. Comparing the control treatment with plants that received the highest dose of Agrosilício, the number of damaged internodes, the Intensity of Infestation (% I.I.) and the number of larvae on the stem were lowered by 69.23%, 71.92% and 100%, respectively. The fresh mass of the leaves was higher in fertilized plants with 2.0 and 6.0 t ha⁻¹ of Agrosilício. The number of eggs of *D. saccharalis* on the free choice test, in relation to the control, decreased by 14.58%, 27.72% and 43.44%, respectively, for the doses of 2.0, 4.0 and 6.0 t ha⁻¹ of Agrosilício. For the test without choice, the average number of eggs was 602.33, 556.16, 408.67 and 262.67, respectively, for doses of 0.0, 2.0, 4.0 and 6.0 t ha⁻¹ of Agrosilício. On this same test, the number of postures was also reduced with increasing doses of fertilizer. For the parasitism by *C. flavipes* on *D. saccharalis* reared on sugarcane, fertilized or not with Agrosilício, were found 16.67% of pupae in the control treatment, 8.33% in plants fertilized with 2.0 t ha⁻¹ and only 5.0% in the fertilized plants with 4.0 and 6.0 t ha⁻¹ of Agrosilício. In general, the Agrosilício was able to reduce the damage caused by *D. saccharalis* without interfering on the parasitism by *C. flavipes*.

Keywords: *Saccharum* spp. Common borer of sugarcane. Natural enemy. Interactions. Silicon

3.1 INTRODUÇÃO

A influência dos minerais pode ocasionar mudanças no padrão de crescimento, na morfologia, e especialmente, na composição química e enzimática das plantas, aumentando ou diminuindo a resistência ou tolerância aos patógenos e insetos-praga (MARSCHNER, 1995). Sendo assim, o estado nutricional da planta hospedeira pode afetar negativamente ou positivamente as características comportamentais dos insetos-praga, como o local de escolha para oviposição ou alimentação, podendo também interferir nas características biológicas dos insetos. Além disso, o desempenho dos predadores e parasitoides também pode ser afetado pela qualidade da planta hospedeira (AWMACK; LEATHER, 2002), influenciando assim, o terceiro nível trófico (PRICE et al., 1980).

A indução de resistência em plantas através do uso de produtos naturais, como o silício, pode se tornar uma recomendação viável para o controle de insetos-praga, isoladamente ou em associação com as demais práticas de manejo (ANTUNES, 2009). Além disso, a aplicação do silício nas plantas aumenta o crescimento e a produção do vegetal, pois deixa as folhas mais eretas com diminuição do autossombreamento, sendo também capaz de reduzir o acamamento das plantas, aumentar a rigidez estrutural dos tecidos e proteção contra estresses abióticos, reduzindo, por exemplo, a toxidez de Ferro, Manganês e Alumínio. Porém, o grande destaque para a adubação silicatada se deve ao fato de esse nutriente induzir a resistências das plantas a patógenos e insetos-praga (EPSTEIN; 1994).

A aplicação de 20 toneladas de escórias silicatadas por hectare no plantio, aumentou a produtividade de colmos de cana-de-açúcar, refletindo conseqüentemente no aumento da produção de açúcar (ANDERSON; JONES; SNYDER, 1987). Silveira Júnior et al. (2003) também obtiveram aumentos de produtividade de colmos na cana-planta e cana-soca com o uso de silicato, sendo estes aumentos superiores aos efeitos do calcário.

Goussain et al. (2002) observaram o efeito da aplicação de silicato de sódio (25-28% de SiO₂) em plantas de milho (*Zea mays* L., Poaceae) no hábito alimentar da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), comparando as mandíbulas das lagartas alimentadas com folhas de milho tratadas e não tratadas com o silicato de sódio, demonstrando que as mandíbulas das lagartas apresentaram desgaste acentuado na região incisora quando em contato com folhas com maior teor de silício. A aplicação de silicato de sódio pode dificultar a alimentação dessas lagartas, causando aumento de mortalidade e canibalismo, tornando assim, as plantas de milho mais resistentes a essa praga.

Na África do Sul, a broca do colmo da cana-de-açúcar *Eldana saccharina* Walker, 1865 (Lepidoptera: Pyralidae) é uma das pragas que causam maiores danos a essa cultura e a adubação com silicato de cálcio reduziu a porcentagem desses insetos nas plantas e consequentemente, uma redução de colmos brocados (KEEPING; MEYER, 2002).

A deposição de silício na superfície inferior das folhas de centeio (*Secale cereale* L., Poaceae) tratadas com silicato de sódio, afetaram negativamente a preferência de oviposição do gorgulho-das-pastagens *Listronotus bonariensis* (Kuschel, 1955) (Coleoptera: Curculionidae) (BARKER, 1989). Carvalho; Moraes; Carvalho (1999) pesquisaram o efeito do silício como indutor de resistência em plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench, Poaceae) ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae) e concluíram que, nos testes com chance e sem chance de escolha, ocorre uma significativa redução na preferência e na reprodução desse inseto nas plantas tratadas com silício.

O controle biológico da broca comum *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) utilizando o parasitoide larval *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891) (Hymenoptera: Braconidae) é o mais utilizado e sua associação com práticas de indução de resistência pode potencializar o controle da praga. Sendo assim, é imprecidível o estudo da interação tritrófica (cana-de-açúcar - *D. saccharalis* - *C. flavipes*), pois plantas resistentes podem reduzir ou aumentar a capacidade de controle da praga pelos inimigos naturais (MORAES et al., 2004).

Segundo Kvedaras et al. (2010), plantas de pepino (*Cucumis sativus* L., Cucurbitaceae) tratadas previamente com silicato de potássio e posteriormente infestadas com lagartas de *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1805) (Lepidoptera: Noctuidae) foram mais atrativas para o predador *Dicranolaius bellulus* (Guerin-Meneville, 1830) (Coleoptera: Melyridae) que plantas não infestadas e tratadas com o mineral, possivelmente devido às respostas dos inimigos naturais aos voláteis induzidos pelo inseto-praga.

Considerando as inter-relações inseto-plantas e incluindo o terceiro nível trófico, poucas são as informações de estudos realizados sobre a resistência intrínseca de cultivares de cana-de-açúcar à *D. saccharalis* e extrínseca ao parasitoide *C. flavipes* (BOIÇA JUNIOR; LARA; BELLODI, 1997; SILVA, 2009).

Pelos motivos expostos e pelo fato de a cana-de-açúcar ser uma das gramíneas que mais extraem silício do solo (PRADO; FERNANDES; NATALE, 2003), o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do Agrosilício (silicato de Ca e Mg) aplicado em diferentes doses em relação ao desenvolvimento vegetativo da variedade SP791011 de cana-de-açúcar

infestada por *D. saccharalis*, ao acúmulo de silício no colmo, à não preferência de oviposição por *D. saccharalis*, e os efeitos do silício no parasitismo do inimigo natural *C. flavipes*.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Local e Instalações

O experimento foi conduzido em telado, com temperatura de $28 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 5\%$ e 12 horas de fotofase, no Centro de Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) no município de Rio Largo-AL.

3.2.2 Obtenção e análise do substrato

O substrato utilizado para o plantio das mudas foi composto por: solo, torta de filtro e fibra de coco na proporção de 2:1:1, fornecido pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (PMGCA) situado no mesmo local do experimento. Amostras dos substratos utilizados durante todo o estudo foram analisadas pelo Laboratório de Análise de Solos Viçosa Ltd, em Viçosa-MG, antes de serem adubadas com o Agrosilício (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Características químicas dos solos utilizados nos experimentos, antes da adubação com Agrosilício.

Amostra	pH H ₂ O	P ---mg.dm ⁻³ ---	K -----cmol.dm ⁻³ -----	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTC (T)	V	m	MO
1	6,2	52,3	400,0	14,6	4,8	0,0	4,1	20,4	24,6	83,0	0,0	14,3
2	6,5	53,0	390,0	14,7	5,0	0,0	4,1	20,7	24,8	83,5	0,0	14,3
3	6,8	54,5	350,0	15,0	5,5	0,0	4,0	21,4	25,4	84,3	0,0	14,5

pH em água, KCl e CaCl₂ - Relação 1:2,5
P - K - Extrator Mehlich 1
Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L
H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0
SB = Soma de Bases Trocáveis

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0
V = Índice de Saturação de Bases
m = Índice de Saturação de Alumínio
MO = Matéria Orgânica

Tabela 2. Características físicas dos solos utilizados nos experimentos, antes da adubação com Agrosilício.

Amostra	Tipo de solo	Argila	Silte	Areia	Classificação textural
		-----%-----			
1	Arenoso	9	14	77	Franco-arenoso
2	Arenoso	10	14	76	Franco-arenoso
3	Arenoso	11	12	77	Franco-arenoso

Foram encaminhadas três amostras, sendo a Amostra 1 com solo utilizado nos testes sobre o efeito da infestação da broca comum *D. saccharalis* no desenvolvimento vegetativo da variedade SP7910111 de cana-de-açúcar e Intensidade de Infestação da broca comum; Amostra 2 com solo destinado aos testes de não preferência para oviposição da broca comum e; Amostra 3 com solo usado nos testes de parasitismo de *C. flavipes* em lagartas de *D. saccharalis* no interior do colmo da cana-de-açúcar.

3.2.3 Fonte de Silício

A fonte de silício utilizada foi de escória siderúrgica, conhecida como Agrosilício (silicato de cálcio e magnésio). As porcentagens passantes nas peneiras ABNT 10, ABNT 20 e ABNT 50 foram 100%, 99,9% e 71,4%, respectivamente. O Agrosilício utilizado é um subproduto do processo de fabricação de aço proveniente de Timóteo (MG), cuja caracterização foi realizada no Laboratório de Análises de Solos e Calcários da Universidade Federal de Uberlândia-MG (Tabela 3).

Tabela 3. Caracterização química e física da escória siderúrgica utilizada no plantio das mudas de cana-de-açúcar da variedade SP791011. Valores em %.

Si total	Si solúvel	CaO	CaCO ₃	MgO	MgCO ₃	PN	RE	PRNT
13,81	7,82	39,8	70,8	9,7	20,4	87,5	88,5	77,4

PN: Poder de Neutralização; RE: Reatividade; PRNT: Poder Relativo de Neutralização Total.

3.2.4 Preparação das mudas

A variedade de cana-de-açúcar utilizada, cedida pelo PMGCA, foi a SP791011, que apresenta as seguintes características: maturação média, alto teor de sacarose, baixo teor de fibra, média exigência de fertilidade do solo, bom perfilhamento, florescimento raro, boa

brotação de soqueira, resistência intermediária ao carvão, resistência à escaldadura e susceptibilidade à ferrugem e à broca comum *D. saccharalis* (FERNANDES, 2005).

Mini-toletes contendo apenas uma gema, obtidos do terço médio superior foram plantados em vasos com capacidade para 8L, contendo 5,5Kg de substrato previamente adubado ou não com Agrosilício e utilizados no experimento para avaliar o desenvolvimento vegetativo das plantas infestadas por *D. saccharalis*, assim como a porcentagem de infestação da praga. Para os testes de não preferência de oviposição por *D. saccharalis* e parasitismo por *C. flavipes* utilizaram-se sacos de muda com capacidade para 5,0Kg. Foram utilizados os seguintes tratamentos:

T0: Substrato sem adubação – 0,0 t ha⁻¹ (0,0 Kg de silício);

T1: Substrato adubado com Agrosilício com dose equivalente a 2,0 t ha⁻¹ (276,00 Kg de silício total);

T2: Substrato adubado com Agrosilício com dose equivalente a 4,0 t ha⁻¹ (552,00 Kg de silício total);

T3: Substrato adubado com Agrosilício com dose equivalente a 6,0 t ha⁻¹ (828,00 Kg de silício total).

As mudas foram irrigadas diariamente, repondo água suficiente para manter o solo em aproximadamente 90% da sua Capacidade de Campo (CC).

3.2.5 Infestação das plantas por *Diatraea saccharalis*

Aos 60 dias após o plantio (DAP) foi realizada a infestação das plantas por ovos de *D. saccharalis* próximos à eclosão. Os ovos estavam aderidos em papel manteiga e foram fixados nas folhas da cana-de-açúcar (folha 1 ou folha 0) com auxílio de um alfinete (Figura 4A). Foram colocados 150 ovos/planta e após dois dias, foram realizadas inspeções nos ovos fixados nas plantas para verificar se todas as lagartas haviam eclodido (Figura 4B). Ao redor dos vasos das plantas, utilizou-se formicida em pó para evitar que os ovos fossem predados.

Os ovos foram obtidos na empresa FITOAGRO-Controle Biológico LTDA, localizada no município de Maceió-AL, onde os adultos de *D. saccharalis* foram acondicionados nas câmaras de acasalamento/postura, que consistiam em tubos de PVC revestidos internamente por folhas de papel sulfite, onde as fêmeas ovipositaram. A cada 24 horas as folhas com as posturas eram retiradas e, em seguida, submetidas a três tratamentos, sendo o primeiro com

solução de formol a 10%, o segundo em água destilada e por fim sulfato de cobre a 10% evitando assim a contaminação por microorganismos. Após a secagem destas folhas, as posturas com lagartas próximas a eclosão, foram colocadas em vidros contendo dieta artificial de alimentação, nos quais os insetos se alimentaram durante 14 dias desde a sua eclosão. Em seguida, as lagartas foram retiradas dos tubos de vidro e acondicionadas em placas de Petri contendo dieta de realimentação, permanecendo neste ambiente até a pupação. As pupas foram mantidas em recipientes com ventilação e forrados com papel filtro umedecido em água destilada para evitar a dessecação das mesmas. Próximo à emergência, as pupas foram transferidas para as câmaras de acasalamento, fechando assim um ciclo.

Figura 4. Infestação de mudas de cana-de-açúcar da variedade SP791011 por ovos de *Diatraea saccharalis*. A - Papel manteiga com os ovos e; B - Papel manteiga após a eclosão das lagartas.

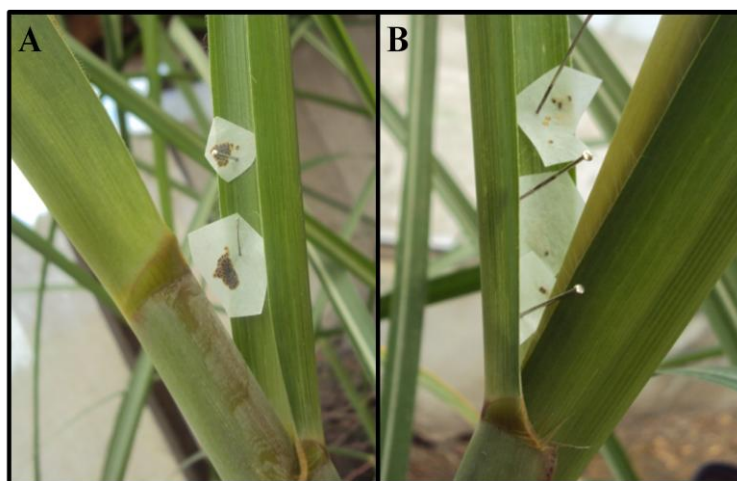


Foto: Autora, 2013.

3.2.6 Efeito da infestação de *Diatraea saccharalis* no desenvolvimento vegetativo e Intensidade de Infestação (% I.I.)

O efeito da infestação de *D. saccharalis* sobre o desenvolvimento vegetativo das plantas foi avaliado aos 40 dias após a infestação (DAI), ou seja, aos 100 DAP. Foram avaliados os seguintes parâmetros: altura e diâmetro dos colmos, número de entrenós totais, número de entrenós brocados, número de lagartas, número de pupas e a massa fresca e seca de folhas, colmos e raízes. Também foram observados os sintomas de danos causados pelas lagartas de *D. saccharalis* decorrentes da alimentação, tais como: enraizamento aéreo,

brotações laterais, secamento dos ponteiros (“coração morto”), galerias no colmo e o sintoma conhecido como podridão vermelha.

A altura do colmo foi medida a partir do solo até a primeira aurícula visível, com auxílio de uma fita métrica, enquanto o diâmetro foi determinado com auxílio de um paquímetro digital em uma região distante 5,0 cm do solo. Para avaliar o número de entrenós brocados, os colmos foram abertos no sentido longitudinal, obtendo-se, assim, a porcentagem de entrenós danificados pelo complexo broca/podridão através da seguinte fórmula: $[\text{n}^\circ \text{ de entrenós danificados} / \text{n}^\circ \text{ total de entrenós}] \times 100$.

As partes da planta (folhas, colmos e raízes) foram pesadas para determinação da massa fresca. Para remoção das partículas de solo, as raízes foram lavadas em água corrente e secas com papel toalha. Após a pesagem, as diferentes partes da planta foram separadas, colocadas em sacos de papel Kraft e em seguida submetidas à secagem em uma estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 48 horas. Após a secagem, os colmos foram triturados em moinho de facas para obtenção de pó fino e as amostras foram enviadas ao Laboratório de Análises de Fertilizante – LAFER da Universidade Federal de Uberlândia-MG para análise do teor de silício.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados consistindo de quatro tratamentos e 10 repetições, onde cada bloco continha oito plantas, sendo consideradas duas plantas/parcela. Os dados foram transformados em $\sqrt{(x+1)}$, exceto a % I.I., que foi transformada em arco seno $\sqrt{(x/100)}$. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando o valor de F foi significativo, realizou-se a análise de regressão por meio do programa estatístico Assistat – versão 7.7 beta (SILVA, 2013).

3.2.7 Teste de não preferência para oviposição de *Diatraea saccharalis*

As pupas de *D. saccharalis* foram fornecidas semanalmente pela FITOAGRO para que fosse garantido o número ideal de adultos emergidos na mesma data. A sexagem das pupas foi realizada no Laboratório de Ecologia e Comportamento de Insetos - LECOM/UFAL, sendo em seguida acondicionadas em gaiolas de PVC forradas com algodão e papel filtro umedecido em água destilada e fechadas com tecido tipo “voil”, onde permaneciam até a emergência dos adultos.

Para o teste de não preferência para oviposição, com e sem chance de escolha, foram utilizadas mudas de plantas dos quatro tratamentos e com 60 dias de idade.

3.2.7.1 Teste com chance de escolha

No interior de gaiolas com dimensões 1,5 m x 0,6 m x 1,0 m, revestidas com tecido tipo “voil” as plantas foram colocadas de forma equidistante e aleatória (Figura 5). Cada gaiola continha quatro plantas, sendo uma de cada tratamento (0,0; 2,0; 4,0 e 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício) e no seu interior foram liberados oito casais adultos de *D. saccharalis* com 24 horas de emergência. Após quatro dias da liberação dos casais, as plantas foram retiradas das gaiolas e levadas ao Laboratório de Entomologia Agrícola do CECA onde os ovos foram contados com auxílio do microscópio estereoscópico. Ao redor das gaiolas, utilizou-se formicida em pó para evitar que os ovos fossem predados.

Figura 5. Gaiolas utilizadas no teste de não preferência para oviposição da broca comum *Diatraea saccharalis*, com chance de escolha, em cana-de-açúcar da variedade SP791011 com diferentes doses de Agrosilício. A - Vista frontal da gaiola e B – Adultos da broca comum após liberação no interior das gaiolas.

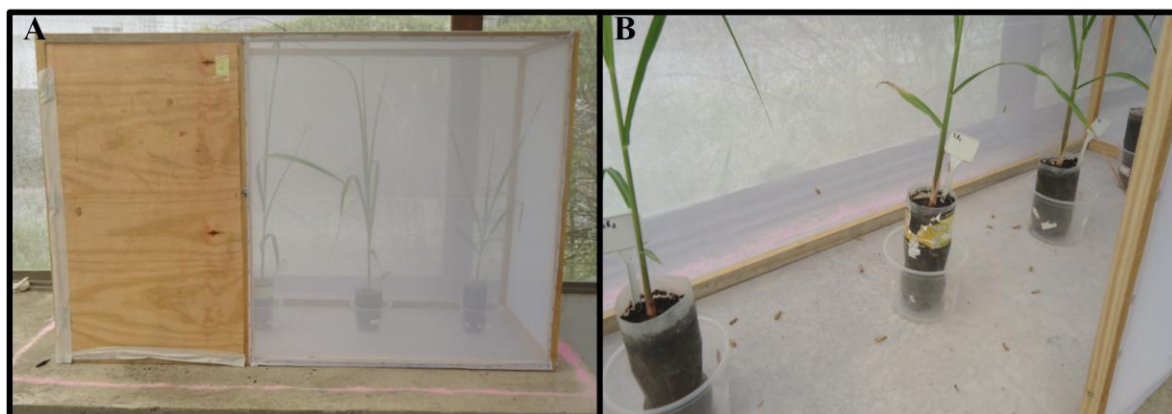


Foto: Autora, 2013.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados consistindo de quatro tratamentos e 12 repetições, onde cada repetição (gaiola) continha quatro plantas dos diferentes tratamentos. Os dados foram transformados em $\sqrt{(x+1)}$ e os resultados submetidos à análise de variância (ANOVA), realizando-se a análise de regressão quando o valor F foi significativo por meio do programa estatístico Assistat – versão 7.7 beta (SILVA, 2013).

3.2.7.2 Teste sem chance de escolha

Mudas de cana-de-açúcar da variedade SP791011 dos diferentes tratamentos (0,0, 2,0, 4,0 e 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício), foram protegidas por tecido tipo “voil” de forma individual,

representando assim uma gaiola, onde no seu interior foram liberados dois casais adultos de *D. saccharalis* com 24 horas de emergência (Figura 6). Utilizou-se uma estaca de bambu com 50 cm de comprimento como suporte para sustentação da capa de “voil” em cada planta. Após quatro dias da liberação dos casais, as plantas foram retiradas das gaiolas e levadas ao Laboratório de Entomologia Agrícola do CECA, onde os ovos foram contados com auxílio do microscópio estereoscópico. Ao redor dos vasos das plantas, utilizou-se formicida pó para evitar que os ovos fossem predados.

Figura 6. Gaiola utilizada no teste de não preferência para oviposição da broca comum *Diatraea saccharalis*, sem chance de escolha, em cana-de-açúcar da variedade SP791011 com diferentes doses de Agrosilício.



Foto: Autora, 2013.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados consistindo de quatro tratamentos e seis repetições, sendo cada repetição (gaiola) com apenas uma planta. Os dados foram transformados em $\sqrt{(x+1)}$ e os resultados submetidos à análise de variância (ANOVA), realizando-se a análise de regressão quando o valor de F foi significativo por meio do programa estatístico Assistat – versão 7.7 beta (SILVA, 2013).

3.2.8 Parasitismo de *Cotesia flavipes* em lagartas de *Diatraea saccharalis* no interior do colmo da cana-de-açúcar

As lagartas de *D. saccharalis* e as massas das pupas do parasitoide *C. flavipes* foram fornecidas pela empresa FITOAGRO. As massas de pupa de *C. flavipes* foram individualizadas em tubos de vidro de fundo chato de 8,5 cm x 2,5 cm vedados com plástico filme. Após a emergência e antes da liberação, os adultos foram mantidos por 12 horas no interior dos tubos de vidro para que a cópula fosse garantida.

Lagartas de *D. saccharalis* com 14 dias de idade foram colocadas, individualmente, no interior de tubos de *Eppendorf* afunilados com capacidade pra 1,5 mL, cuja parte inferior foi cortada para que cada lagarta pudesse sair pela extremidade do tubo e se alimentasse do colmo da planta. Os tubos de *Eppendorf* foram fixados nas plantas de cana-de-açúcar 120 DAP através de um orifício feito no colmo da planta (Figura 7A).

Cada planta foi infestada por três lagartas (três tubos de *Eppendorf*) e em seguida, quatro das plantas previamente infestadas e do mesmo tratamento, foram mantidas no interior de gaiolas com dimensões 1,5 m x 0,6 m x 1,0 m (Figura 7B).

Quatro dias após a infestação com *D. saccharalis* (Figura 7C), os tubos de *Eppendorf* foram retirados, permanecendo as lagartas no interior do colmo. Posteriormente, foram liberados 24 casais de *C. flavipes* no interior das gaiolas (Figura 7D). Esse número foi baseado na literatura tendo em vista a alta infestação por *D. saccharalis* (12 lagartas/gaiola) recomendando-se a liberação máxima de quatro vespas para cada lagarta (proporção 4:1) (PINTO; GARCIA; OLIVEIRA, 2006).

Figura 7. Etapas do teste de parasitismo por *Cotesia flavipes* em lagartas de *Diatraea saccharalis* no interior do colmo da cana-de-açúcar. A - Infestação da cana-de-açúcar com *D. saccharalis* no interior de tubos de *Eppendorf* ; B - Cana-de-açúcar infestada por *D. saccharalis* no interior da gaiola; C - Aspecto do *Eppendorf* quatro dias após a infestação por *D. saccharalis*; e D - Liberação dos adultos de *C. flavipes* no interior das gaiolas.

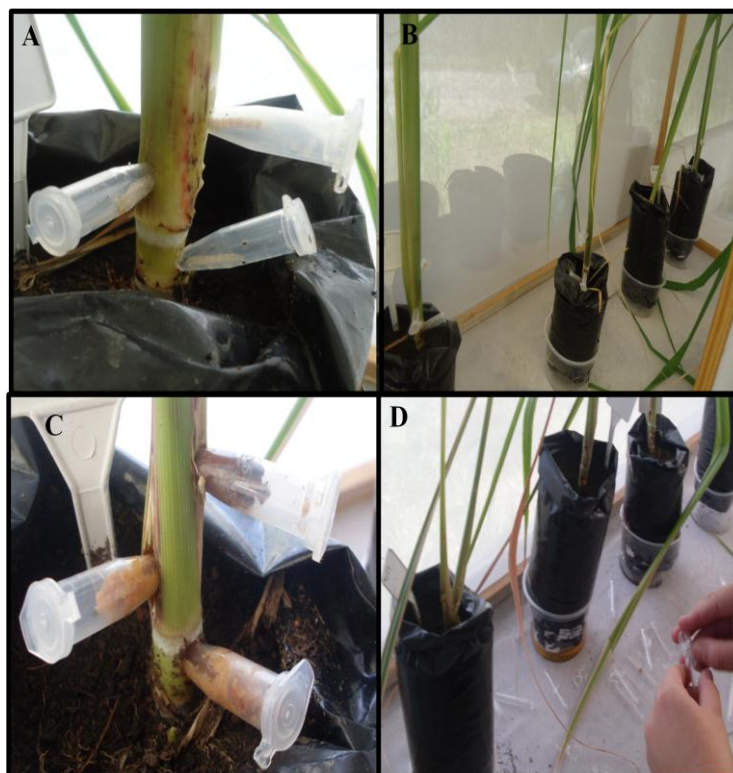


Foto: Autora, 2013.

Três dias após a liberação dos parasitoides, as plantas foram retiradas das gaiolas, as folhas destacadas, o colmo cortado rente ao solo e colocado em sacos plásticos devidamente identificados e levados ao Laboratório de Entomologia Agrícola do CECA, em seguida foram abertos longitudinalmente e as lagartas retiradas e colocadas em placas de Petri contendo dieta de realimentação para confirmação do parasitismo por *C. flavipes*. As dietas de realimentação foram preparadas acrescentando-se o pó decorrente da trituração da cana-de-açúcar da variedade SP791011 adubada com as diferentes doses de silício, onde cada dieta foi fornecida às lagartas de acordo com os tratamentos a que estas foram submetidas no teste de parasitismo no interior das gaiolas.

O cálculo do parasitismo foi feito utilizando a fórmula: [% de parasitismo = (total de lagartas parasitadas e massas da vespa/total de lagartas e pupas) x 100].

O delineamento experimental foi em blocos casualizados consistindo de quatro tratamentos e cinco repetições. Cada repetição era composta por quatro gaiolas (uma para cada tratamento). O número total de parasitoides (pupas), e o número de parasitoides emergidos e não emergidos foram transformados em $\sqrt{(x+1)}$. Já a viabilidade dos parasitoides, e a porcentagem de lagartas de *D. saccharalis* parasitadas, mortas ou transformadas em pupas, foram transformadas em arco seno $\sqrt{(x/100)}$. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) realizando-se a análise de regressão quando o valor de F foi significativo por meio do programa estatístico Assistat – versão 7.7 beta (SILVA, 2013).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

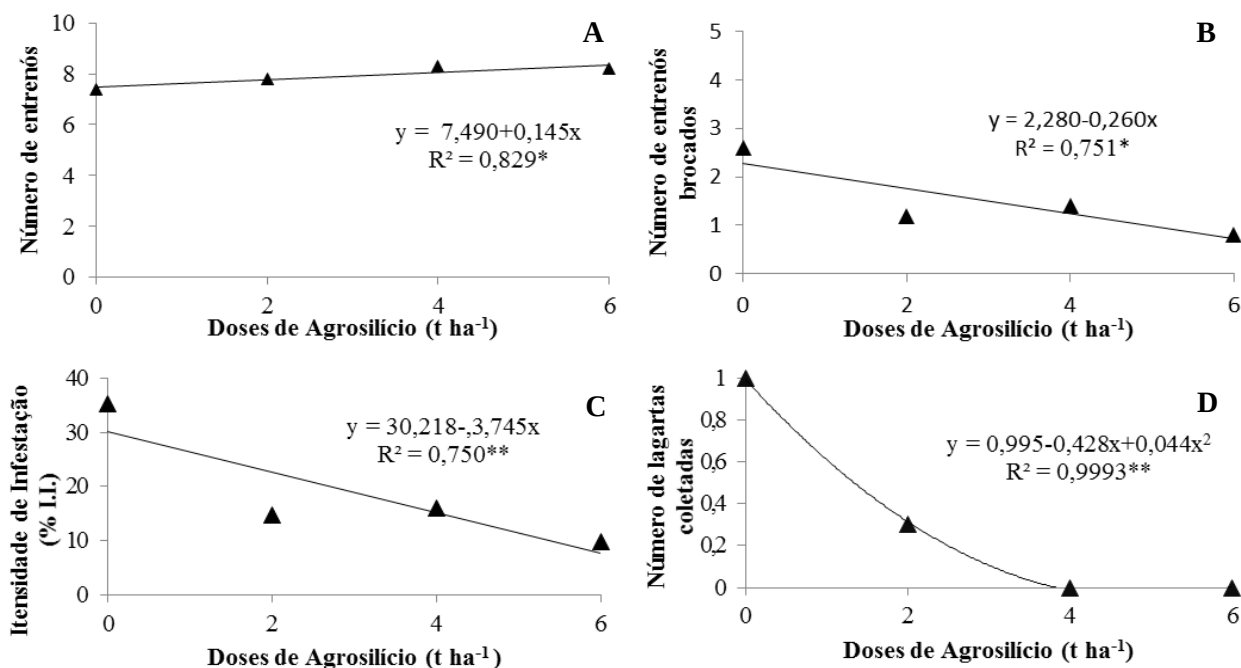
3.3.1 Efeito da infestação de *Diatraea saccharalis* no desenvolvimento vegetativo e Intensidade de Infestação (% I.I.)

De acordo com as análises de regressão, o número total de entrenós, o número de entrenós brocados, a % I.I. de *D. saccharalis* e o diâmetro do colmo das mudas de cana-de-açúcar em relação às diferentes doses de Agrosilício, apresentaram um melhor ajuste na equação linear. O teor de silício no colmo e o número de lagartas encontradas apresentaram um melhor ajuste na equação quadrática, enquanto a altura do colmo não foi significativa de

acordo com as doses crescentes de Agrosilício. Com relação ao número de pupas de *D. saccharalis*, apenas uma foi encontrada, não sendo possível realizar a análise estatística.

Ao analisar o efeito das diferentes doses do Agrosilício sobre o número de entrenós da variedade SP791011 de cana-de-açúcar por meio da regressão linear, observou-se efeito significativo a 5,0% de probabilidade e coeficiente de determinação de 0,829. A testemunha apresentou uma média de 7,4 entrenós, enquanto nas doses de 2,0 t ha⁻¹, 4,0 t ha⁻¹ e 6,0 t ha⁻¹ as médias foram de 7,8, 8,3 e 8,2 entrenós, respectivamente, ou seja, pela curva de regressão, verificou-se que uma aplicação de 2,0 t ha⁻¹ de Agrosilício provocou um aumento de 5,41% do número de entrenós, enquanto que na dose de 4,0 t ha⁻¹ observou-se a melhor resposta em relação ao número de entrenós com um acréscimo de 12,16%. Para a dose de 6,0 t ha⁻¹ o acréscimo foi de 10,81% (Figura 8A).

Figuras 8. A - Número de entrenós; B - Número de entrenós brocados; C - % I.I. por *Diatraea saccharalis* e; D - Número de lagartas coletadas após 40 dias de infestação artificial por *D. saccharalis* em cana-de-açúcar da variedade SP791011 em função das doses de Agrosilício.



O acúmulo de silício em plantas de cana-de-açúcar pode resultar em aumento da produtividade, provavelmente devido à redução da transpiração e à melhora na estrutura da planta, como mostra o trabalho de Silveira Junior et al. (2003), que compara o efeito do silicato de cálcio ao do calcário. Esses autores concluíram que o tratamento com silicato na cana-planta teve incremento de 6,6% ou 11,0 t ha⁻¹ de cana-de-açúcar em relação à

testemunha quando foi aplicada a dose de 4,0 t ha⁻¹ de silicato de cálcio, correspondente a 844 Kg de silício total. Anderson, Jones e Snyder (1987) obtiveram um aumento na produtividade de colmos de cana-de-açúcar de 39% e de 50% na produção de açúcar, com a aplicação de 20,0 t ha⁻¹ de escória silicatada no plantio.

Kvedaras et al. (2005) também obtiveram um aumento significativo no número total de entrenós para a variedade de cana-de-açúcar N26, susceptível à broca *E. saccharina*, quando adubada com 10,0 t ha⁻¹ de silicato de cálcio, em comparação com o controle.

A aplicação de silício nas plantas aumenta o crescimento e a produção do vegetal, pois deixa as folhas mais eretas com diminuição do autossombreamento e, como consequência, aumenta a capacidade de absorver a luz solar e de realizar fotossíntese, favorecida pelas mudanças na estrutura das mesmas (EPSTEIN; 1994, KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2003). Pereira et al. (2004), trabalhando com doses crescentes de Wollastonita (fonte de silício) na cultura do arroz (*Oriza sativa* L., Poaceae), obtiveram aumentos na produtividade de grãos de 24,0 g.vaso⁻¹ na testemunha, para 33,0 g.vaso⁻¹ na dose equivalente a 0,5 t ha⁻¹ de silício.

O número de entrenós brocados teve uma redução de 69,23% em relação à testemunha quando foi aplicada a dose de 6,0 t ha⁻¹ do Agrosilício, evidenciando que plantas de cana-de-açúcar não adubadas com silício, foram mais vulneráveis ao ataque de *D. saccharalis*. Esses dados se ajustaram em uma regressão linear decrescente com coeficiente de determinação de 0,751 e significativo a 5% de probabilidade. O número de entrenós brocados foi de 2,6 para a testemunha, e conforme a dose de Agrosilício foi aumentada, este número foi de 1,2, 1,4 e 0,8, respectivamente, para as doses de 2,0, 4,0 e 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício (Figura 8B).

Após as observações do número total de entrenós e número de entrenós brocados, foi possível determinar a %I.I. provocada por *D. saccharalis*. Esses dados se ajustaram em uma regressão linear decrescente, significativos ao nível de 1% de probabilidade com coeficiente de determinação de 0,750. A testemunha apresentou 35,26% dos entrenós brocados, enquanto na dose máxima de Agrosilício (6,0 t ha⁻¹), apenas 9,90% dos entrenós apresentaram-se brocados por *D. saccharalis*. A redução da % I.I. em relação à testemunha foi de 58,03%, 54,70% e 71,90% para as doses de 2,0 t ha⁻¹, 4,0 t ha⁻¹ e 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício, respectivamente (Figura 8C). Essa diminuição da infestação de *D. saccharalis* com relação às doses crescentes de silício, corroboram com os resultados de Keeping e Meyer (2006), em que se constatou associação entre a absorção desse elemento em cana-de-açúcar e a redução na infestação da broca *E. saccharina*, na África do Sul. Anteriormente, Keeping; Meyer (2002)

já haviam observado que a aplicação de 5,0 t ha⁻¹ de silicato de cálcio no plantio da cana-de-açúcar reduziu em 33,7% os danos causados por essa mesma praga também nesse país.

Embora tenha sido coletado um baixo número de lagartas, possivelmente devido à competição natural que pode ter levado ao canibalismo, a análise dos dados foi significativa ao nível de 1% de probabilidade e o coeficiente de determinação foi 0,999. Houve um decréscimo do número de lagartas encontradas, seguindo um modelo quadrático, de uma lagarta nas plantas não adubadas (0,0 t ha⁻¹) para zero lagarta nas doses de 4,0 t ha⁻¹ e 6,0 t ha⁻¹ (Figura 8D). O reduzido número de insetos pode ser explicado devido às mudanças anatômicas das folhas provocadas pelo silício, em decorrência da deposição de sílica, resultando na formação de uma barreira mecânica capaz de dificultar o ataque de insetos (EPSTEIN, 1999).

Esses resultados reforçam os de outros autores com relação a adubação silicatada induzindo resistência de plantas a insetos-praga, como mostram Costa; Moraes; Antunes (2007), ao avaliar a resistência induzida ao pulgão *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae), através da aplicação de ácido silícico em plantas de trigo (*Triticum vulgare* Vill, Poaceae). Esses autores verificaram que o número de pulgões em relação à testemunha foi nove vezes menor nas plantas de trigo adubadas com ácido silícico. Moraes et al. (2004) também verificaram que a aplicação de silício aumentou o grau de resistência de plantas de trigo, diminuindo a preferência do pulgão *S. graminum* em relação à testemunha.

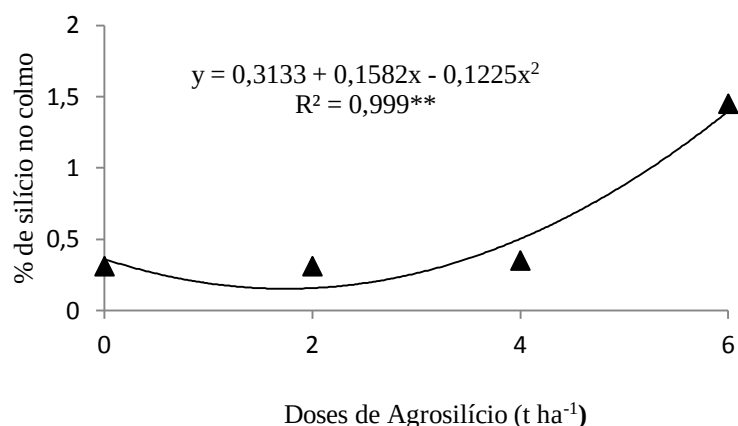
Costa; Moraes (2002) aplicando silicato de sódio em plantas de sorgo, também verificaram que o silício proporcionou moderada resistência a *S. graminum*. Goussain et al. (2002), verificaram efeito significativo do silício na mortalidade de *S. frugiperda* ao final do 2º instar, quando as lagartas foram alimentadas com folhas de plantas de milho adubadas com silício, apresentando o dobro da mortalidade da testemunha.

Devido à cana-de-açúcar ser uma gramínea com grande capacidade de acumular silício (EPSTEIN, 1994, MARSCHNER, 1995), a redução do número de entrenós brocados em plantas tratadas com Agrosilício pode estar relacionada com o acúmulo desse elemento nas folhas e colmos, formando assim, uma barreira mecânica à penetração de lagartas de *D. saccharalis* nos primeiros ínstaes.

Sendo assim, a redução dos danos provocados por *D. saccharalis* comprovadas neste trabalho, pode ser explicada parcialmente pelo acúmulo de silício no colmo, que foi significativo ao nível de 1% de probabilidade, obtendo-se um modelo de regressão quadrático e coeficiente de determinação de 0,999. A testemunha e as plantas que receberam a dose de

2,0 t ha⁻¹ de Agrosilício apresentaram teor de 0,31% de silício no colmo. As plantas adubadas com 4,0 t ha⁻¹ apresentaram teor de 0,35% de silício no colmo, enquanto as plantas adubadas com 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício apresentaram 1,45% de silício (Figura 9). O elevado teor de silício nas plantas adubadas com a maior dose de Agrosilício (6,0 t ha⁻¹) pode claramente explicar a redução de 69,23% no número de entrenós brocados e de 71,90% na % I.I. provocados por *D. saccharalis*, em relação à testemunha.

Figura 9. Porcentagem de silício em colmos de cana-de-açúcar da variedade SP791011 em função das doses de Agrosilício.



Keeping e Meyer (2002), estudando o efeito do silício em cana-de-açúcar, demonstraram que houve redução na porcentagem da broca *E. saccharina* em torno de 20% e também uma redução de colmos brocados de 23,7%, utilizando como fonte deste nutriente o silicato de cálcio.

Anderson e Sosa (2001), também verificaram uma redução em torno de 30,67% na % I.I. causada por *D. saccharalis* em cinco cultivares de cana-de-açúcar, cultivadas na Flórida, adubadas com silicato de cálcio oriundo de escória siderúrgica. Esses mesmos autores observaram ainda um aumento na produção de colmos e no rendimento de açúcar de 16,70% e 19,50%, respectivamente.

Apesar da baixa ocorrência de lagartas de *D. saccharalis* após 40 dias de infestação das plantas, foi possível identificar vários sintomas de danos provocados pela praga, principalmente na testemunha, evidenciando que a infestação artificial foi eficiente. O baixo número de insetos obtidos deve-se, possivelmente, ao período de avaliação ser superior ao do ciclo pré-imaginal (ovo-adulto) do inseto, e que por esse motivo, o inseto atingiu a fase adulta e deixou o hospedeiro.

Na testemunha, foram coletadas 20 lagartas de *D. saccharalis* 40 DAI e os sintomas de danos observados foram: enraizamento aéreo; brotação lateral; secamento do ponteiro (“coração morto”); herbivoria na base da planta, podendo causar tombamento; orifício de saída do inseto; e aberturas de galeria no interior do colmo com sintoma de podridão vermelha, provocado por fungos, principalmente *Fusarium moniliforme* e *Colletotrichum falcatum*, que penetram através dos orifícios e galerias feitos pela broca comum (GALLO et al., 2002) (Figura 10).

Figura 10. Sintomas de danos na testemunha após 40 dias de infestação artificial de *Diatraea saccharalis* em cana-de-açúcar da variedade SP791011. A - enraizamento aéreo; B - brotação lateral; C - secamento do ponteiro (“coração morto”); D - herbivoria na base da planta; E - orifício de saída do inseto; e F - galeria no interior do colmo com sintoma de podridão vermelha.

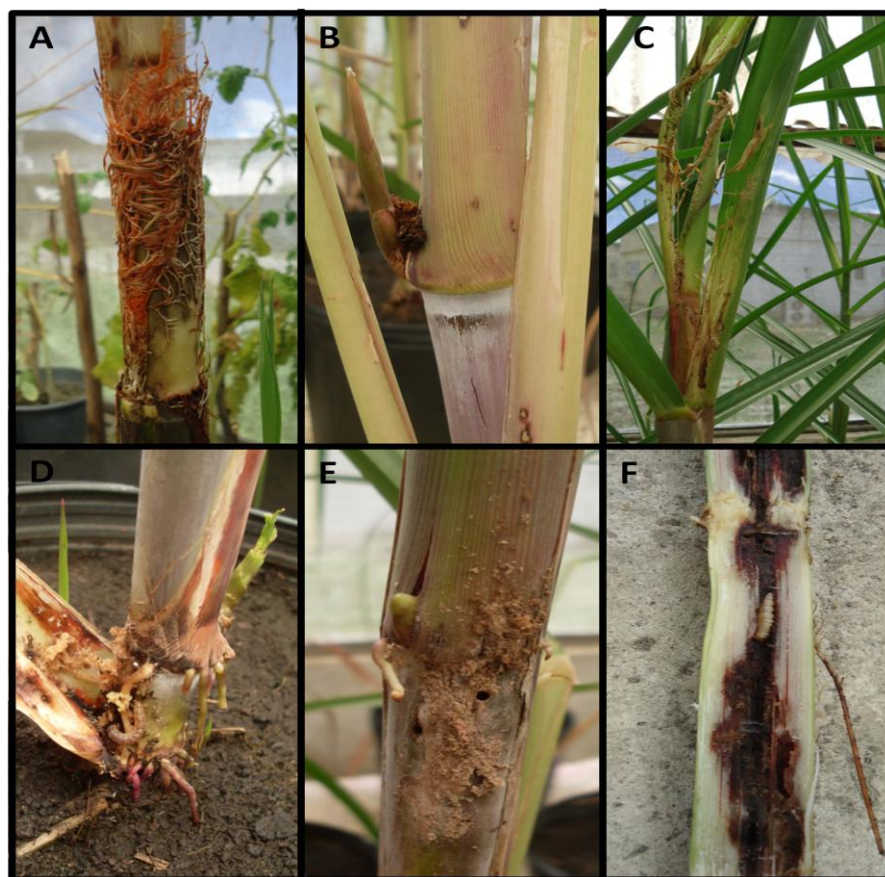


Foto: Autora, 2013.

Nas plantas adubadas com 2,0 t ha⁻¹ de Agrosilício, foram coletadas apenas seis lagartas de *D. saccharalis* aos 40 DAI e observados somente os sintomas de herbivoria nas folhas e enraizamento aéreo (Figura 11).

Figura 11: Sintomas de danos após 40 dias de infestação artificial de *Diatraea saccharalis* em cana-de-açúcar da variedade SP791011 adubadas com 2,0 t ha⁻¹ de Agrosilício. A - herbivoria nas folhas; e B - enraizamento aéreo.

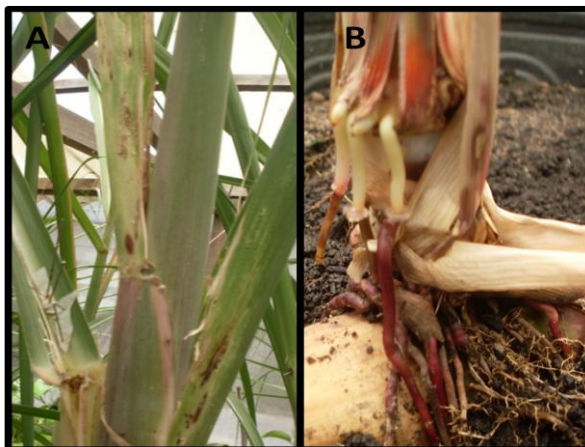


Foto: Autora, 2013.

Nas plantas adubadas com 4,0 t ha⁻¹ de Agrosilício, não foram encontradas lagartas de *D. saccharalis* após a infestação artificial, porém, foram observadas a herbivoria do colmo e o orifício de saída do inseto, bem como brotação lateral (Figura 12).

Figura 12. Sintomas de danos após 40 dias de infestação artificial de *Diatraea saccharalis* em cana-de-açúcar da variedade SP791011 adubadas com 4,0 t ha⁻¹ de Agrosilício. A - herbivoria do colmo e orifício de saída do inseto; e B - Brotação lateral.

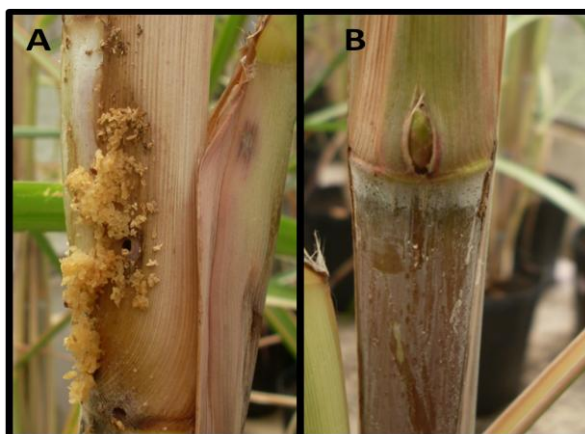


Foto: Autora, 2013.

Nas plantas adubadas com 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício, foi observado em apenas uma planta o orifício de saída do inseto e manchas vermelhas nas plantas, possivelmente, devido ao sintoma de toxidez provocado pelo excesso de silício (Figura 13). Não foram encontradas lagartas de *D. saccharalis* após a infestação artificial.

Figura 13. Sintomas de danos após 40 dias de infestação artificial de *Diatraea saccharalis* em cana-de-açúcar da variedade SP791011 adubadas com 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício. A - manchas vermelhas na planta; e B - orifício de saída do inseto.

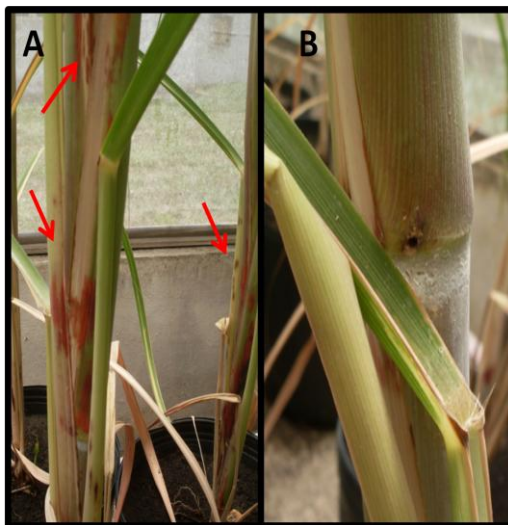
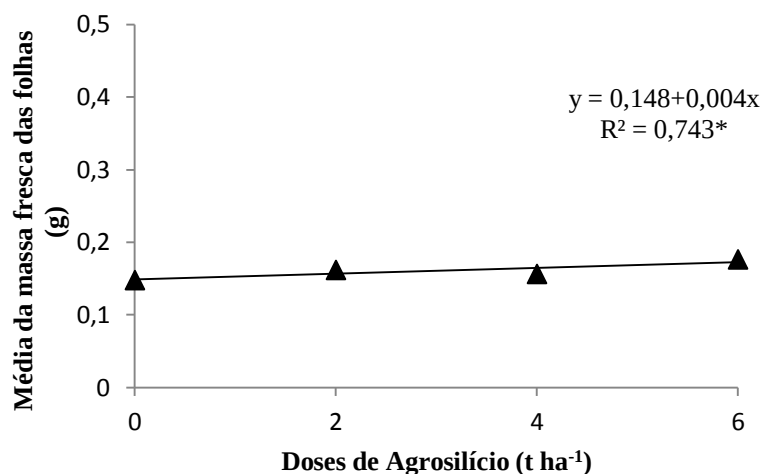


Foto: Autora, 2013.

Não houve diferença significativa entre a altura do colmo de plantas de cana-de-açúcar e as doses de Agrosilício testadas. Com relação ao diâmetro das plantas de cana-de-açúcar, apesar de significativo ao nível de 5% de probabilidade, o coeficiente de determinação foi muito baixo (0,001) demonstrando que a altura do colmo não depende das diferentes doses de Agrosilício utilizadas neste estudo.

Observou-se efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade somente para a massa fresca de folhas em relação às doses de Agrosilício, que se ajustou ao modelo de regressão linear e coeficiente de determinação de 0,743. Os melhores resultados de massa fresca das folhas (0,176g) foram obtidos na dose de 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício, valor 19,26% superior em relação à testemunha (0,148g) (Figura 14). Por outro lado, não ocorreram diferenças significativas entre a massa fresca de colmos e raízes, e a massa seca de folhas, colmos e raízes em relação às diferentes doses de Agrosilício utilizadas. Segundo Korndörfer e Datnoff (1995), o aumento dos teores de silício nas plantas pode trazer vários benefícios, tais como o aumento do crescimento e da produtividade de várias culturas, devido principalmente ao aumento da eficiência fotossintética.

Figura 14. Massa fresca de folhas (g) após 40 dias de infestação artificial por *Diatraea saccharalis* em cana-de-açúcar da variedade SP791011 em função das doses de Agrosilício.



Vilela et al. (2014), ao estudar a aplicação da solução de ácido silícico a 1% (equivalente a 4,0 t ha⁻¹ de SiO₂) sobre o desenvolvimento vegetativo de plantas de cana-de-açúcar das variedades RB72454 e SP801842, respectivamente, consideradas com moderada resistência e susceptível a broca comum *D. saccharalis*, verificaram um aumento de 91,23% na massa fresca da parte aérea da variedade SP801842 adubadas com SiO₂ em relação às plantas não adubadas. Porém na variedade RB72454 o aumento da massa fresca da parte aérea foi de apenas 3,13%.

Resultados semelhantes foram observados por Madeiros, Vieira e Aquino (2009), quando avaliaram o efeito de cinco doses de escória siderúrgica (silicato de cálcio e magnésio com 11% SiO₂ solúvel) nas duas cultivares de cana-de-açúcar RB72454 e SP791011 a *D. saccharalis*, não observando diferença significativa nas variáveis: altura da planta, taxa de crescimento relativo e matéria seca da parte aérea.

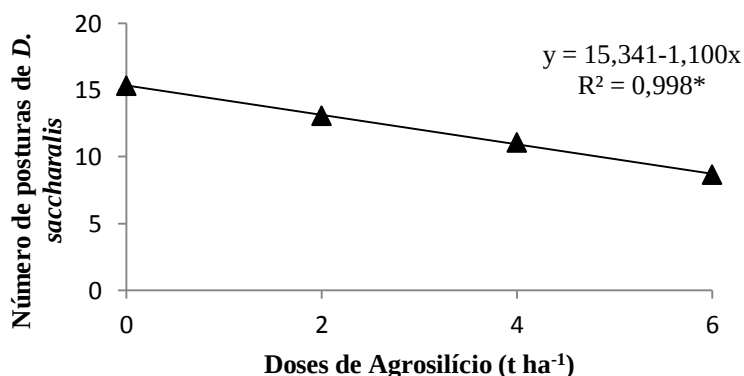
Sousa et al. (2010), avaliando o efeito de doses de silicato de potássio K₂SiO₃ com 12,2% de silício e 15% de óxido de potássio aplicado via foliar na cultura do milho *Z. mays* (cultivar 2B587), também não observaram variação significativa para a massa seca de folhas. Entretanto, a massa seca do colmo apresentou variação significativa em função das doses de K₂SiO₃ com um incremento de 53% quando aplicado 4,0 L.ha⁻¹ de K₂SiO₃ em relação ao tratamento testemunha. Costa, Moraes e Antunes (2007) não verificaram diferença significativa na massa seca das folhas de trigo (*T. vulgare*) tratadas com ácido silícico e infestadas pelo pulgão-verde *S. graminum*. As diferentes guildas de alimentação de insetos

herbívoros, como os mastigadores e os sugadores, podem ter a alimentação dificultada devido às mudanças anatômicas nos tecidos das plantas pelo acúmulo de sílica (EPSTEIN, 1999).

3.3.2 Teste de não preferência para oviposição de *Diatraea saccharalis*

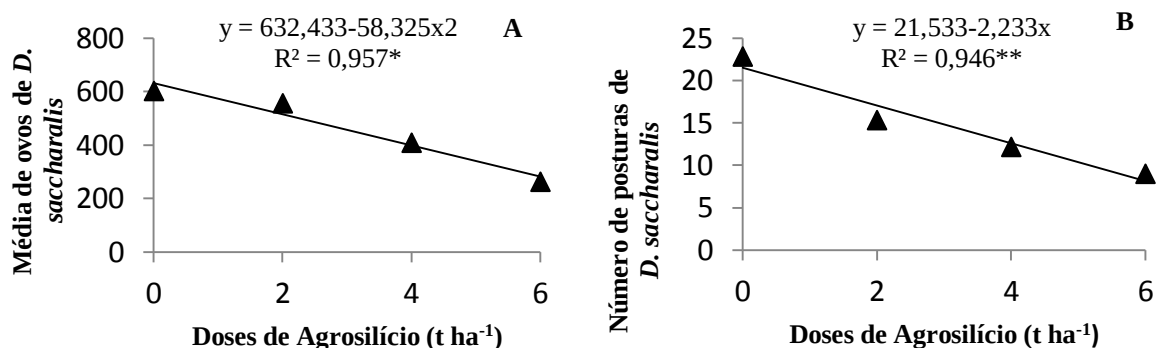
No teste de não preferência para oviposição de *D. saccharalis* com chance de escolha em plantas de cana-de-açúcar adubadas ou não com diferentes doses de Agrosilício, não houve diferença estatística em relação ao número de ovos e número de ovos/postura. Com relação ao número de posturas, houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade com resposta linear decrescente com o aumento das doses de Agrosilício. A dose máxima de Agrosilício ($6,0 \text{ t ha}^{-1}$) apresentou o menor número de posturas (8,67); uma redução de 42,44% em relação à testemunha (15,33) (Figura 15).

Figura 15. Número de posturas no Teste de não preferência para oviposição de *Diatraea saccharalis*, com chance de escolha, em plantas de cana-de-açúcar da variedade SP791011 adubadas ou não com diferentes doses de Agrosilício.



No teste de não preferência para oviposição de *D. saccharalis* sem chance de escolha em plantas de cana-de-açúcar adubadas ou não com diferentes doses de Agrosilício, a aplicação do fertilizante influenciou de forma negativa no número de ovos de *D. saccharalis*, o qual respondeu de forma linear decrescente ao incremento das doses deste adubo. Foram encontrados 602,33 ovos na testemunha e 556,16, 408,67 e 262,67 nas plantas adubadas com $2,0 \text{ t ha}^{-1}$, $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ e $6,0 \text{ t ha}^{-1}$ de Agrosilício, respectivamente, ou seja, uma redução no número de ovos de 56,39% na dose máxima do adubo em relação à testemunha (Figura 16A).

Figura 16. Teste de não preferência para oviposição de *Diatraea saccharalis*, sem chance de escolha, em plantas de cana-de-açúcar da variedade SP791011 adubadas ou não com diferentes doses de Agrosilício. A - número de ovos; e B - número de posturas.



Para o número de posturas de *D. saccharalis* no teste sem chance de escolha, houve diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade em relação às diferentes doses do Agrosilício com resposta linear decrescente e coeficiente de determinação de 0,946. A testemunha apresentou 22,83 posturas e, nas plantas adubadas com 2,0 t ha⁻¹, 4,0 t ha⁻¹ e 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício o número de posturas foi reduzido em 32,85% (15,33), 46,69% (12,17) e 60,58% (9,00), respectivamente (Figuras 16B).

Não houve diferença significativa no número de ovos/postura de *D. saccharalis* com relação às diferentes doses de Agrosilício.

Estes resultados apontam que, possivelmente, fatores de atração presentes nas folhas das plantas de *Saccharum* spp. influenciaram na permanência e atratividade da broca comum nas plantas adubadas ou não com o Agrosilício. Korndörfer (2006), estudando plantas de *Davilla elliptica* St. Hill (Dilleniaceae), popularmente conhecida como lixeirinha, adubadas com silicato de cálcio, constatou que as folhas da planta ficaram mais duras e com maior número de tricomas devido ao acúmulo de silício. O comportamento de ovipositar em substratos que garantam o desenvolvimento de seus descendentes é regra geral que os insetos apresentam, assegurando, dessa forma, a sobrevivência (LARA, 1991).

Entretanto, Korndörfer, Grisoto e Vendramim (2011), avaliando o efeito do silício sobre a cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata* (Stål, 1854) (Hemiptera: Cercopidae), utilizando como fonte o silicato de potássio (0,8 t ha⁻¹), não encontraram diferença significativa com relação ao número de ovos em plantas adubadas e não adubadas com silício. Esses mesmos autores propuseram que a formação da dupla camada de silício junto à cutícula das folhas, tenha dificultado a alimentação da cigarrinha adulta, além de que, o acúmulo de

silício na planta poderia ter ativado e aumentado a quantidade de compostos fenólicos e, assim, interferir no desenvolvimento e comportamento do inseto.

Peixoto et al. (2011), avaliando o efeito do silício na preferência para oviposição de *Bemisia tabaci* biótipo B (Gennadius, 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae) adubadas com 500 mL de solução de ácido silícico a 1%, equivalente a 2,0 t ha⁻¹ de SiO₂, concluíram que houve redução na oviposição (teste com chance de escolha) e no desenvolvimento das ninfas de *B. tabaci* biótipo B. Essa redução pode estar associada ao comportamento do inseto em preferir ovipositar em plantas que garantam o desenvolvimento e a sobrevivência de suas ninfas. Entretanto, esses mesmos autores, não observaram efeito significativo no teste sem chance de escolha nas médias de oviposição e do número de ninfas de *B. tabaci* com relação à aplicação ou não do silício.

Correa et al. (2005) também verificaram que o silício, utilizado como fonte o silicato de cálcio, em plantas de pepino com e sem o indutor de resistência acibenzolar-S-metil, em um estudo com chance de escolha, reduziu a oviposição de *B. tabaci* biótipo B em mais de três vezes quando comparado ao grupo controle. Porém, Ferreira, Morais e Atunes (2011) não verificaram influência do silício na indução de resistência contra *B. tabaci* biótipo B em duas cultivares de soja (*Glycine hispida* Max., Fabaceae) com relação à preferência para oviposição da mosca-branca em testes com e sem chance de escolha.

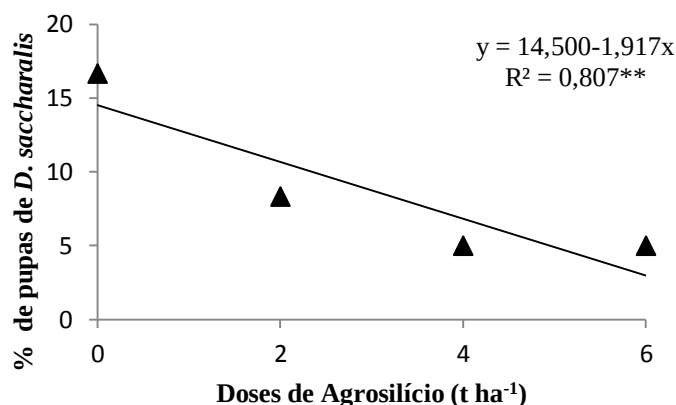
3.3.3 Parasitismo de *Cotesia flavipes* em lagartas de *Diatraea saccharalis* no interior do colmo da cana-de-açúcar

Nos testes de parasitismo de *C. flavipes* em lagartas de *D. saccharalis* no interior do colmo de plantas de cana-de-açúcar da variedade SP791011 adubadas ou não com diferentes doses de Agrosilício, não foram observados efeitos significativos para as variáveis: % de lagartas parasitadas, % lagartas mortas, número de casulos (pupa) do parasitoide, número de parasitoides emergidos, número de parasitoides não emergidos e viabilidade das pupas do parasitoide.

Para o número de pupas de *D. saccharalis*, houve resposta linear negativa com o aumento das doses de Agrosilício e coeficiente de correlação de 0,807 com 1% de probabilidade. Na testemunha, 16,67% das lagartas liberadas transformaram-se em pupa, enquanto que nas plantas adubadas com 2,0 t ha⁻¹ de Agrosilício, 8,33% das lagartas transformaram-se em pupa; já nas plantas adubadas com 4,0 t ha⁻¹ e 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício,

apenas 5,0% transformaram-se em pupa (Figura 17). Nota-se que a transformação das lagartas em pupas foi reprimida nas plantas adubadas, muito provavelmente, em função do enrijecimento das paredes celulares pelo silício (silificação).

Figura 17. Porcentagem de pupas de *Diatraea saccharalis* no teste de parasitismo de *Cotesia flavipes* em lagartas de *Diatraea saccharalis* no interior do colmo da cana-de-açúcar da variedade SP791011 adubadas ou não com diferentes doses de Agrosilício.



Vários são os trabalhos que revelam a eficiência do silício no controle de diversas pragas em culturas de interesse comercial. Contudo, poucas são as informações disponíveis sobre seus efeitos na interação tritrófica (planta – insetos herbívoros - inimigo natural). A indução de resistência a insetos herbívoros utilizando o silício e o controle biológico pode ser antagonista ou não e, por este motivo, essa interação deve ser bem estudada antes de ser colocada em prática no campo.

Os resultados encontrados neste trabalho demonstraram não haver interferência da adubação silicatada nos parasitoides, nas condições do estudo, colaborando com as pesquisas desenvolvidas nesse sentido como a que foi realizada por Moraes et al. (2004) com o objetivo de observar o efeito indireto da aplicação de 2,5 g.kg⁻¹ de silicato de cálcio em plantas de trigo no desenvolvimento de dois importantes inimigos naturais do pulgão-verde *S. graminum*, *Chrysoperla externa* (Hagen, 1862) (Neuroptera: Chrysopidae) e *Aphidius colemani* Viereck, 1912 (Hymenoptera: Aphidiidae). Esses autores verificaram que, tanto o predador quanto o parasitoide, não sofreram nenhuma alteração na sua biologia quando se alimentaram de pulgões provenientes de plantas tratadas com silício e que a porcentagem de parasitismo por *A. colemani* em plantas de trigo infestadas por *S. graminum* não diferiu estatisticamente em relação à testemunha.

Oliveira (2012), testando a atratividade do parasitoide *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson, 1880) (Hymenoptera: Braconidae) por plantas de trigo submetidas à adubação com

silício (sílica gel correspondente a $0,3 \text{ t ha}^{-1}$ de silício) e herbivoria pelo pulgão *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Aphididae), observou respostas positivas para essas plantas adubadas, independentemente da presença do pulgão, sugerindo que os voláteis emitidos por elas são similares aos das plantas atacadas pelos pulgões.

Segundo Kvedaras et al. (2010), plantas de pepino tratadas previamente com silício (silicato de potássio) e, posteriormente, infestadas com lagartas de *H. armigera*, foram mais atrativas para o predador *D. bellulus* que plantas infestadas pelo inseto-praga e não adubadas com silício. Isso ocorreu, possivelmente, devido às respostas dos inimigos naturais aos voláteis induzidos pelo inseto-praga, tendo em vista que, dos 36 predadores testados com uso de um olfatômetro, 24 escolheram as plantas com silício e com a praga, e apenas 12 optaram por plantas infestadas com a praga, porém sem adubação com silício. Esses mesmos autores também concluíram não haver diferença na atração do parasitoide por plantas adubadas ou não com silício, sem a presença da praga.

Trabalhos visando estudar a influência do silício na interação tritrófica, são escassos (MORAES et al., 2004; KVEDARAS et al., 2010) e, na cultura da cana-de-açúcar, ainda é desconhecido o efeito da adubação silicatada sobre o parasitoide de larvas *C. flavipes*, que é bastante utilizado no controle da broca comum *D. saccharalis*.

3.4 CONCLUSÕES

- O Agrosilício aumenta o número de entrenós da variedade SP791011 de cana-de-açúcar;
- O número de entrenós brocados e a % I.I. de *D. saccharalis* são reduzidos com o incremento das doses de Agrosilício até $6,0 \text{ t ha}^{-1}$;
- Maiores doses de Agrosilício reduzem os sintomas de danos provocados por *D. saccharalis* na variedade SP791011 de cana-de-açúcar;
- A massa fresca dos colmos e raízes, bem como a massa seca de folhas, colmos e raízes da variedade SP791011 de cana-de-açúcar, não apresentam relação com doses de até $6,0 \text{ t ha}^{-1}$ de Agrosilício em plantas com 60 dias;

→ A variedade SP791011 de cana-de-açúcar adubada com Agrosilício reduziu a oviposição de *D. saccharalis*;

→ O Agrosilício não interfere no parasitismo de *C. flavipes* em lagartas de *D. saccharalis*.

REFERÊNCIAS

- Anderson, D. L.; Jones, D. B.; Snyder, G. H. Response of a rice and sugar cane relation to calcium silicate slag on Everglades Histossols. **Agronomy Journal**, v. 79, p. 531-535, 1987.
- Anderson, D. L.; Sosa, O. Jr. Effect of silicon on expression of resistance to sugarcane borer (*Diatraea saccharalis*). **Journal of the American Society for Sugar Cane Technologists**, v. 21, p. 43-50, 2001.
- Antunes, C. S. **Efeito do silício sobre as lagartas-chaves e seus inimigos naturais em milho e girassol**. 2009. 43f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2009.
- Awmack, C. S.; Leather, S.R. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. **Annual Review of Entomology**, v. 47, p. 817-844, 2002.
- Barker, G. M. Grass host preferences of *Listronotus* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal Economic Entomology**, v. 82, p. 1807-1816, 1989.
- Boiça Junior, A. L.; Lara, F. M.; Bellodi, M. P. Influência de variedades de cana-de-açúcar, incorporadas em dieta artificial, no desenvolvimento de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) e no seu parasitismo por *Cotesia flavipes* (Cam.). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 26, n. 3, p. 537-542, 1997.
- Carvalho, S. K.; Moraes, J. C.; Carvalho, J. G. Efeito do silício na resistência do sorgo (*Sorghum bicolor*) ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani) (Homoptera: Aphididae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 28, p. 505-510, 1999.
- Correa, R. S. B. et al. Silicon and acibenzolar-S-methyl as resistance inducers in cucumber, against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) biotype B. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 3, p. 429-433, 2005.
- Costa, R. R.; Moraes, J.C. Resistência induzida em sorgo por silicato de sódio e infestação inicial pelo pulgão-verde *Schizaphis graminum*. **Revista Ecosystema**, v. 27, n. 1/2, p. 37-39, 2002.
- Costa, R. R.; Moraes, J. C.; Antunes, C. S.; Resistência induzida em trigo ao pulgão *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Homoptera: Aphididae) por silício e acibenzolar-s-methyl. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 2, p. 393-397, 2007.

Epstein, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 91, n.1 p. 11-17, 1994.

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

Fernandes, O. W. B. **Avaliação de variedades de cana-de-açúcar para a produção de cachaça artesanal e a interferência dos resultados no comportamento do produtor na região de Salinas-MG: uma contribuição extensionista**. 2005. 83f. Dissertação (Mestrado em Educação Profissional Agrícola) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

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**, v. 40, n. 4, p. 495-500, 2011.

Gallo, D. et al. **Entomologia Agrícola**, Piracicaba: FEALQ, v.10, 2002, 920p.

Goussain, M. M. et al. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.

Keeping, M. G.; Meyer, J. H. Calcium silicate enhances resistance of sugarcane to the African stalk borer *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). **Agricultural and Forest Entomology**, v. 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**, v. 130, p. 410-420, 2006.

Korndörfer G. H.; Datnoff, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, 1995. n.70, p.1-3.

Korndörfer, G. H.; Pereira, H. S.; Camargo, M. S. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. Instituto de Ciências Agrárias – Universidade Federal de Uberlândia, **Boletim Técnico**, 2003. 53p.

Korndörfer, A. P. **A importância do silício nas relações entre herbívoros e *Davilla elliptica* (Dilleniaceae) St. Hill no cerrado**. 2006. 31f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2006.

Korndörfer, A. P.; Grisoto, E.; Vendramim, J. D. Induction of insect plant resistance to the spittlebug *Mahanarva fimbriolata* Stål (Hemiptera: Cercopidae) in sugarcane by silicon application. **Neotropical Entomology**, vol. 40, n. 3, p. 387-392. 2011.

Kvedaras, O. L. et al. Effects of silicon on the African Stalk Borer, *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae) in Sugarcane. **Proceedings of the South African Sugar Technologists Association**, v. 79, p. 359-362, 2005.

Kvedaras, O. L. et al. Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defences. **Bulletin of Entomological Research**, v.100, n. 3, p. 367-371, 2010.

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

Madeiros, L. B.; Vieira, A. O.; Aquino, B. F. Influência da escória siderúrgica sobre trocas gasosas e produção de biomassa da cana-de-açúcar. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 121-129, 2009.

Marschner, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. p. 889.

Moraes, J. C. et al. Silicon influence on the tritrophic interaction: wheat plants, the Gressnbug *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae), and its natural enemies, *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) and *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae). **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 5, p. 619-624, 2004.

Oliveira, R. S. **Atratividade do parasitoide *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson, 1880) (Hymenoptera: Braconidae) por plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) submetidas à adubação com silício e herbivoria por *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Aphididae)**. 2012. 43f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2012.

Peixoto, M. L. et al. Efeito do silício na preferência para oviposição de *Bemisia tabaci* biótipo B (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 478-1, 2011.

- Pereira, H. S. et al. Fontes de silício para a cultura do arroz. **Scientia Agricola**, v. 16, n. 5, p. 522-528, 2004.
- Pinto, A. S.; Garcia, J. F.; Oliveira, H. N. Manejo das principais pragas da cana-de-açúcar. In: Segato, S. V. et al. (Org.). **Atualizações em Produção de Cana-de-açúcar**, Piracicaba: Livrocercos, 2006. p. 257-280.
- Prado, R. M.; Fernandes, F. M.; Natale, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27 n. 2, p. 287-296, 2003.
- Price, P. W. et al. Interactions among three tropic levels: influence of plants on interactions between insects, herbivores and natural enemies. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 11, p. 41-65, 1980.
- Silva, F. S. Assistat – Assistência Estatística, versão 7.7. Disponível em: <<http://www.assistat.com>>. Acesso em: 15 jan. 2013.
- Silva, C. C. M. **Desempenho do parasitoide *Cotesia flavipes* (Cam.) (Hymenoptera: Braconidae) sobre *Diatraea saccharalis* (Fabr.) e *Diatraea flavipennella* (Box).** 2009. 39f. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.
- Silveira Júnior, E. G.; Penatti, C.; Korndörfer, G. H.; Camargo, M. S. Silicato de cálcio e calcário na produção e qualidade da cana-de-açúcar – Usina Catanduva. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 24., 2003, Ribeirão Preto, **Anais...**Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p.66.
- Sousa, J. V. et al. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 4, p. 502-513, 2010.
- Vilela, M. et al. Response of Moderate Pest Resistant and Susceptible Cultivar of Sugarcane to Silicon Application. **American Journal of Plant Sciences**, v.5, p. 3823-3828, 2014.

4 INFLUÊNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR ADUBADA OU NÃO COM AGROSILÍCIO E INCORPORADAS EM DIETA ARTIFICIAL, NO DESENVOLVIMENTO DE *Diatraea saccharalis* (FABRICIUS, 1794) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) E DO SEU PARASITOIDE *Cotesia flavipes* (CAMERON, 1891) (HYMENOPTERA: BRACONIDAE)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar os parâmetros da tabela de vida de fertilidade de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) criada em dietas artificiais contendo ou não o pó do colmo da cana-de-açúcar da variedade SP791011 e adubadas ou não com diferentes doses de Agrosilício e o efeito na biologia do seu parasitoide *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891) (Hymenoptera: Braconidae). Foram elaboradas cinco dietas artificiais contendo ou não o colmo em pó da cana-de-açúcar da variedade susceptível à praga SP791011. O efeito da adubação foi avaliado nas seguintes doses de Agrosilício: 0,0; 2,0; 4,0 e 6,0 t ha⁻¹. Os insetos utilizados no experimento foram provenientes da criação massal da empresa FITOAGRO-Controlle Biológico LTDA, localizada no município de Maceió-AL. As lagartas recém eclodidas de *D. saccharalis* foram separadas em cinco grupos, onde cada um recebeu um tipo de dieta. As lagartas, pupas e os ovos foram observados diariamente e mantidos sob condições ambientais à temperatura de 27 ± 2 °C, umidade relativa de 70 ± 10% e fotofase de 12 horas. Os insetos adultos foram mantidos em câmara B.O.D. à temperatura de 21 ± 1 °C, umidade relativa de 70 ± 10% e fotofase de 12 horas. Diariamente os ovos eram retirados e verificava-se a mortalidade dos adultos. Por meio dos dados biológicos de *D. saccharalis*, foram determinados os parâmetros necessários para a construção de tabela de vida de fertilidade (R_0 = taxa líquida de reprodução, r_m = taxa intrínseca de crescimento populacional, T = tempo médio entre gerações, TD = tempo necessário para a população duplicar em número e λ = taxa finita de crescimento populacional), empregando-se o programa estatístico SAS (SAS Institute 1999-2001) e utilizando o método *Jackknife* para estimar erros das médias dos tratamentos e, conseqüentemente, realizar comparações entre pares de tratamentos. Pelos resultados da tabela de vida de fertilidade, verificou-se que a incorporação do pó da cana-de-açúcar adubada com a maior dose de Agrosilício (6,0 t ha⁻¹) foi prejudicial ao desenvolvimento e reprodução de *D. saccharalis*, porém não afetou a capacidade de oviposição. O desenvolvimento biológico do parasitoide *C. flavipes*, em lagartas de *D. saccharalis* alimentadas com as dietas artificiais contendo o pó do colmo da variedade SP791011, adubada com diferentes doses de Agrosilício, não foi alterado. Os resultados sugerem que pode existir uma associação positiva entre a adubação silicatada e o controle biológico.

Palavras-chave: Insecta. Silício. Tabela de vida de fertilidade. Controle biológico.

4 INFLUENCE OF SUGARCANE FERTILIZED OR NOT WITH AGROSILÍCIO AND INCORPORATED IN ARTIFICIAL DIET, IN DEVELOPMENT OF *Diatraea saccharalis* (FABRICIUS, 1794) (LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) AND ON ITS PARASITOID, *Cotesia flavipes* (CAMERON, 1891) (HYMENOPTERA: BRACONIDAE)

ABSTRACT

The aim of this work was to study the parameters of fertility life table of *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) reared in artificial diets with or without the sugarcane stalk powder from the variety SP791011 and fertilized or not with different doses of Agrosilício and the effect on the biology of its parasitoid *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891) (Hymenoptera: Braconidae). Five artificial diets were prepared, containing or not the powdered stalk of sugar cane from the susceptible variety SP791011. The effect of the fertilization was analyzed on the following doses of Agrosilício: 0.0; 2.0; 4.0 and 6.0 t ha⁻¹. The insects used in the experiment were obtained from the mass rearing of the company FITOAGRO-Biological Control LTD, located in the city of Maceió-AL. The newly hatched larvae of *D. saccharalis* were separated into five groups, and each one received a different kind of diet. The larvae, pupae and eggs were daily observed and kept under ambient conditions, at 27 ± 2 °C, relative humidity 70 ± 10% and photoperiod of 12 hours. The adults were kept in B.O.D. chamber temperature 21 ± 1 °C, 12h photoperiod and relative humidity of 70 ± 10%. Daily the eggs were removed and checked for adult mortality. Through the biological data of *D. saccharalis* were determined necessary parameters for the construction of table life fertility (R_0 = net reproductive rate, r_m = intrinsic rate of population growth, T = mean generation time, TD = time parameters necessary for the population to double in number and λ = finite rate of population growth), using the SAS statistical software (SAS Institute 1999-2001) and using the *Jackknife* method to estimate errors of the treatment means and, consequently, allows to perform comparisons between pairs of treatments. From the results of table fertility life, it was found that the incorporation of powdered stalk from sugar cane fertilized with the highest dose of Agrosilício (6.0 t ha⁻¹) was detrimental to the development and reproduction of *D. saccharalis*, although, the capacity of oviposition was not affected. The biological development of the parasitoid *C. flavipes* in sugarcane borer larvae fed on artificial diets containing the powdered stalk from the variety SP791011, fertilized with different doses of Agrosilício, has not been affected. The results suggest that there may be a positive association between Silicon fertilization and biological control.

Keywords: Insecta. Silicon. Fertility life table. Biological control.

4.1 INTRODUÇÃO

O estado nutricional da planta é um dos principais fatores que afetam os processos ecológicos, fisiológicos e comportamentais dos insetos. Sendo assim, a nutrição das plantas através da aplicação de fertilizantes, surge como uma alternativa de manejar a ocorrência de insetos-praga em agroecossistemas, podendo conferir às plantas certa tolerância ao ataque dos mesmos (HUNT; DRURY; MAW, 1992) ou ainda, contribuir com o aumento na eficiência de controle através dos seus inimigos naturais (CARDOSO et al., 1995).

Dentre os nutrientes, podemos citar o silício, que vem sendo utilizado pelo fato de conferir às plantas proteção com relação aos estresses abióticos, dentre eles; resistência à seca, altas temperaturas, salinidade e toxicidade ao Manganês (MA; TAKAHASHI, 2002) e ao Alumínio (DATNOFF; SNYDER; KORNDÖRFER, 2001); e também pela proteção aos fatores bióticos, tais como; a resistência às pragas e doenças (KEEPING; KVEDARAS, 2008). Além disso, como consequência da proteção conferida às plantas, o silício reflete positivamente no aumento de produção (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2002).

Apesar dos seus vários benefícios, as principais pesquisas com esse nutriente estão relacionadas à indução de resistência da planta a pragas e doenças. Essa resistência é atribuída ao processo de acúmulo de sílica nos tecidos da planta (FENG, 2004), formando uma barreira mecânica (GOUSSAIN, 2002) bem como pela indução de resistência através da ativação de processos bioquímicos após o ataque de patógenos ou insetos, como por exemplo, a maior produção de compostos fenólicos, quitinases, peroxidases (CHÉRIF; ASSELIN; BÉLANGER, 1994, GOMES et al., 2005) e acúmulo de lignina em plantas tratadas com silício após herbivoria (GOMES et al., 2008), podendo interferir no crescimento e desenvolvimento de insetos-praga.

Para estudos de biologia de insetos, a determinação da tabela de vida de fertilidade apresenta dados importantes que estimam parâmetros de crescimento populacional a partir de dados biológicos, como duração, sobrevivência, viabilidade, fecundidade e razão sexual, em função de idades específicas da população em estudo (VAN DRIESCHE; BELLOWS JUNIOR, 1996). Nesse sentido, Southwood (1978) relatou que a construção da tabela de vida de fertilidade é importante para o entendimento da dinâmica populacional de uma espécie.

Sendo a cana-de-açúcar uma das gramíneas que mais extraem silício do solo (PRADO; FERNANDES; NATALE, 2003), os seus benefícios nesta cultura foram muito bem estudados na África do Sul no combate à broca-da-cana *Eldana saccharina* Walker, 1865 (Lepidoptera:

Pyrilidae), um inseto cujas lagartas se desenvolvem no interior dos colmos (MEYER; KEEPING, 2005). No Brasil, há uma carência de informação sobre os efeitos do silício na biologia da broca comum *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) e sobre suas interações com o parasitoide *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891) (Hymenoptera: Braconidae), utilizado para o controle da broca comum.

Porém, já foram realizadas pesquisas com outras espécies de plantas com a finalidade de descobrir se essas plantas adubadas com silício interferem na biologia das principais pragas de cada espécie vegetal. Como exemplo, a pesquisa realizada por Nascimento (2013) que, avaliando a indução de resistência em arroz (*Oryza sativa* L. Poaceae) a *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) pela aplicação de silício, concluiu que os insetos alimentados com plantas tratadas com silício apresentaram menor consumo alimentar, redução no peso de lagartas e de pupas e diminuição na longevidade dos adultos, quando comparadas ao controle.

Em plantas de tomate (*Solanum Lycopersicum* Mill. Solanaceae), Santos (2012) observou que o silício, aplicado via foliar, afetou negativamente os aspectos biológicos de *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae). De acordo com esse mesmo autor, a aplicação de silício via solo não conferiu resistência ao tomateiro com relação à praga, provavelmente pelo fato de o tomateiro não ser uma planta acumuladora de silício.

A utilização do silício no Manejo Integrado de Pragas (MIP) é uma prática vantajosa por não deixar resíduos nos alimentos ou no ambiente e poder ser integrado com outras estratégias de manejo, como o controle biológico (LAING; ADANDONON, 2005). Entretanto, os efeitos da interação tritrófica entre planta-praga-inimigo natural em plantas adubadas com silício, podem ser negativos, demonstrando a incompatibilidade entre o controle biológico e a adubação silicatada (GAMARRA; BUENO; AUAD, 1997); ou positivos, com redução das populações de insetos (MESSINA; SORENSON, 2001).

Escassas são as pesquisas sobre os efeitos indiretos do silício na biologia dos inimigos naturais dos insetos-praga. Em um deles, Moraes et al. (2004) sugerem ser possível a ocorrência de interação positiva entre a resistência de plantas induzida por silício e o controle biológico das pragas, ao estudarem a interação tritrófica entre plantas de trigo (*Triticum vulgare* Vill, Poaceae), pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae) e seus inimigos naturais, o predador *Chrysoperla externa* (Hagen, 1862) (Neuroptera: Chrysopidae) e o parasitoide *Aphidius colemani* Viereck, 1912 (Hymenoptera: Aphidiidae), em plantas com ou sem adubação de silício. Esses autores concluíram que não

ocorreram efeitos indiretos da aplicação de silício nas características biológicas do predador e do parasitoide.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi estudar os parâmetros da tabela de vida de fertilidade de *D. saccharalis* criada em dietas artificiais contendo ou não o pó do colmo da cana-de-açúcar da variedade SP791011 adubadas ou não com diferentes doses de Agrosilício, bem como o seu reflexo na biologia de *C. flavipes*.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Local e Instalações

As plantas foram cultivadas em telado, no Centro de Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), município de Rio Largo-AL.

O estudo da tabela de vida de fertilidade de *D. saccharalis* e a biologia de *C. flavipes* foram conduzidos no Laboratório de Ecologia e Comportamento de Insetos (LECOM), no Campus AC Simões da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), município de Maceió-AL.

4.2.2 Obtenção e análise do substrato

O substrato utilizado para o plantio das mudas foi composto por solo, torta de filtro e fibra de coco na proporção de 2:1:1, cedido pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (PMGCA) localizado em Rio Largo-AL. Antes de serem adubadas com silício, as amostras dos substratos utilizados durante todo o estudo foram enviadas para análise no Laboratório de Análises de Solo de Viçosa Ltda, em Viçosa-MG (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4. Características químicas do solo antes da adubação com Agrosilício.

pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTC (T)	V	m	MO
H ₂ O	---mg.dm ⁻³ ---		-----cmol.dm ⁻³ -----			-----	--cmol.dm ⁻³ --	-----%----			dag.Kg ⁻¹
6,2	52,3	400,0	14,6	4,8	0,0	4,1	20,4	24,6	83,0	0,0	14,3

pH em água, KCl e CaCl₂ - Relação 1:2,5
P - K - Extrator Mehlich 1
Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L
H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0
SB = Soma de Bases Trocáveis

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0
V = Índice de Saturação de Bases
m = Índice de Saturação de Alumínio
MO = Matéria Orgânica

Tabela 5. Características físicas do solo antes da adubação com Agrosilício.

Tipo de solo	Argila	Silte	Areia	Classificação textural
	-----%-----			
Arenoso	9	14	77	Franco-arenoso

4.2.3 Fonte de silício

A fonte de silício utilizada foi de escória siderúrgica, conhecida como Agrosilício (silicato de cálcio e magnésio). As porcentagens passantes nas peneiras ABNT 10, ABNT 20 e ABNT 50 foram 100%, 99,9% e 71,4%, respectivamente. O Agrosilício utilizado é um subproduto do processo de fabricação de aço proveniente de Timóteo (MG), cuja caracterização foi realizada no Laboratório de Análises de Solos e Calcários da Universidade Federal de Uberlândia-MG (Tabela 6).

Tabela 6. Caracterização química e física da escória siderúrgica utilizada no plantio das mudas de cana-de-açúcar da variedade SP79101. Valores em %.

Si total	Si solúvel	CaO	CaCO ₃	MgO	MgCO ₃	PN	RE	PRNT
13,81	7,82	39,8	70,8	9,7	20,4	87,5	88,5	77,4

PN: Poder de Neutralização; RE: Reatividade; PRNT: Poder relativo de Neutralização Total.

4.2.4 Preparação das mudas e do pó do colmo da cana-de-açúcar para incorporação nas dietas

A variedade de cana-de-açúcar utilizada, cedida pelo PMGCA, foi a SP791011, que apresenta as seguintes características: maturação média, alto teor de sacarose, baixo teor de fibra, média exigência de fertilidade do solo, bom perfilhamento, florescimento raro, boa brotação de soqueira, resistência intermediária ao carvão, resistência à escaldadura e susceptibilidade à ferrugem e à broca comum *D. saccharalis* (FERNANDES, 2005).

Mini-toletes contendo apenas uma gema, obtidos do terço médio superior das plantas, foram plantados em sacos de muda de 5Kg, contendo substrato adubado ou não com o Agrosilício. Foram utilizadas os seguintes tratamentos:

- Substrato sem adubação – 0,0 t ha⁻¹ (0,0 Kg de silício);
- Substrato adubado com Agrosilício com dose equivalente a 2,0 t ha⁻¹ (276,00 Kg de silício total);
- Substrato adubado com Agrosilício com dose equivalente a 4,0 t ha⁻¹ (552,00 Kg de silício total);
- Substrato adubado com Agrosilício com dose equivalente a 6,0 t ha⁻¹ (828,00 Kg de silício total).

As plantas foram cultivadas em telado no CECA/UFAL, sob temperatura de $28 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 5\%$ e 12 horas de fotofase.

As plantas foram previamente infestadas por *D. saccharalis* tendo em vista que a produção de possíveis compostos secundários de defesa é iniciada após o ataque da praga. Por esse motivo, aos 120 dias após o plantio (DAP) foi realizada a infestação das plantas por lagartas de *D. saccharalis* no 3º ínstar. As mudas foram irrigadas diariamente, repondo água suficiente para manter o solo em aproximadamente 90% da sua Capacidade de Campo (CC) e, ao redor dos vasos, utilizou-se formicida em pó para evitar que as lagartas fossem predadas.

Cinco dias após a infestação (DAI), os colmos das plantas em que foram visualizados sintomas de herbivoria, foram coletados, colocados em sacos de papel Kraft e levados para estufa a 60° C por 48 horas. Após a secagem, os colmos foram triturados em moinho de facas para obtenção de pó fino, com a finalidade de incorporá-lo nas diferentes dietas. A casca também foi utilizada com o objetivo de evitar erro, uma vez que a resistência pode estar associada a componentes químicos presentes na casca do colmo.

4.2.5 Preparação das dietas de alimentação e realimentação

As dietas artificiais utilizadas para a criação de *D. saccharalis* foram divididas em cinco grupos (tratamentos):

T: Dieta padrão, ou seja, sem a incorporação de cana-de-açúcar triturada;

T0: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta não foi adubada com Agrosilício;

T1: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com Agrosilício na dose equivalente a $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ (276,00 Kg de silício total);

T2: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com Agrosilício na dose equivalente a $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ (552,00 Kg de silício total);

T3: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com Agrosilício na dose equivalente a $6,0 \text{ t ha}^{-1}$ (828,00 Kg de silício total).

Os tubos de vidro de fundo chato de 8,5 cm x 2,5 cm, utilizados para colocar as dietas de alimentação, foram previamente esterilizados em estufa a 170°C durante 2 horas, assim como o algodão hidrófilo utilizado para tamponar esses vidros (Figura 18A). As bandejas utilizadas para colocar as dietas de alimentação foram lavadas com detergente neutro e em seguida esterilizadas com álcool 70%.

Todos os ingredientes da dieta artificial de *D. saccharalis* (Tabela 7), exceto o ágar, foram misturados com o uso de um liquidificador industrial por aproximadamente cinco minutos. Parte da água foi aquecida na panela até o ponto de fervura e, em seguida, dissolvido o ágar, misturando-se com auxílio de um mixer. As duas partes (mistura do liquidificador e ágar dissolvido) foram misturadas e agitadas por aproximadamente cinco minutos até completa homogeneização. Depois de preparadas, as dietas de alimentação foram vertidas, ainda quentes, para os tubos de vidro de fundo chato (Figura 18B) e, em seguida, tamponados com o algodão hidrófilo. As dietas de realimentação foram colocadas em bandejas plásticas, e estas foram cortadas em pequenos cubos após o seu resfriamento (Figura 18C). Essa dieta foi preparada 14 dias após a dieta de alimentação.

Figura 18. A - Estufa utilizada para esterilizar os tubos de vidro destinados a acondicionar as dietas de alimentação; B - Dieta sendo vertida nos tubos de alimentação e; C - Dieta de realimentação cortada em cubos.



Foto: Autora, 2014.

Tabela 7. Composição das dietas artificiais de alimentação e realimentação (modificadas de HENSLEY; HAMMOND, 1968) utilizadas para o desenvolvimento de *Diatraea saccharalis*.

Ingredientes	Dieta de alimentação	Dieta de realimentação
Cloreto de colina	1g	1 g
Sacarose	135 g	135 g
Sais de Wesson	10 g	-----
Farelo de soja	105 g	195 g
Ácido ascórbico	5 g	2 g
Ácido sórbico	3 g	3 g
Germen de trigo	40 g	20 g
Cana triturada ¹	40 g	20 g
Nipagin	4,5 g	5,5 g
Ágar/ou caragenato	45 g	50 g
Solução vitamínica	30 mL	15 mL
Vita gold	1 mL	1 mL
Antibiótico	1,5 caps.	1,5 caps.
Formol	3 mL	2 mL
Ácido acético	-----	15 mL
Água no liquidificador	1.000 mL	1.000 mL
Água na panela	1.400 mL	1.000 mL

¹Exceto para o tratamento que recebeu a dieta padrão.

O preparo das duas dietas é semelhante, diferenciando-se apenas alguns ingredientes e as quantidades do mesmo. As dietas foram preparadas na FITOAGRO - Controle Biológico LTDA, localizada no município de Maceió-AL e, em seguida, devidamente identificadas e transportadas em caixas térmicas para o Laboratório.

4.2.6 Desenvolvimento de *Diatraea saccharalis* em cinco dietas artificiais

As lagartas de *D. saccharalis* recém-eclodidas e com mesma idade, foram inoculadas nos tubos de vidro de fundo chato que continham a dieta de alimentação, anteriormente preparadas. Cada tubo recebeu apenas uma lagarta para acompanhamento e formação da tabela de vida de fertilidade de *D. saccharalis*. Nesse experimento foram utilizadas 600 lagartas, ou seja, 120 lagartas para cada um dos cinco tratamentos (dietas). Após a inoculação, os tubos foram envoltos nas laterais com papel alumínio, tamponados com algodão hidrófilo e, posteriormente, acondicionados em posição inclinada para facilitar a penetração das lagartas nas dietas.

Quando as lagartas atingiram 14 dias de idade, foram retiradas dos tubos de vidro de fundo chato e colocadas individualizadas em placas de Petri de 12 cm de diâmetro x 2 cm de altura, contendo cubos da dieta de realimentação dos respectivos tratamentos. Foram realizadas observações diárias para verificar a formação de pupas.

As pupas foram retiradas das dietas, sexadas e individualizadas em copos descartáveis com capacidade para 50 mL, sendo a parte inferior forrada com algodão umedecido em água destilada e papel filtro, e a parte superior fechada com tecido tipo “voil” para permitir a aeração. Cada pupa individualizada recebeu sua devida identificação com data de eclosão das lagartas, data de pupa, tratamento (dieta) e repetição. As pupas ficaram assim acondicionadas até a emergência dos adultos.

As lagartas e as pupas foram observadas diariamente e mantidas sob condições ambientais à temperatura de $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 horas. Após a emergência dos adultos, foram formados 15 casais com mesma idade e de cada tratamento (dieta), totalizando 75 casais, para a construção da tabela de vida de fertilidade.

Os 75 casais foram colocados para acasalamento em gaiolas construídas com tubos de PVC, medindo 15 cm de altura e 10 cm de diâmetro. Cada gaiola foi revestida internamente com papel manteiga e fechada nas extremidades, sendo a parte superior com tecido tipo “voil” e a parte inferior com uma placa de Petri de vidro forrada com algodão umedecido em água

destilada e papel filtro. Como fonte de alimentação para os adultos, foi colocado nas gaiolas um algodão molhado em mel a 10%. As gaiolas foram mantidas em câmara B.O.D. à temperatura de 20-22 °C, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 horas.

O papel manteiga (substrato de oviposição), que revestia a parte interna de cada gaiola, foi trocado diariamente e a contagem dos ovos de *D. saccharalis* realizada. Essas avaliações ocorreram até a morte da última fêmea.

Para análise da viabilidade dos ovos, os mesmos foram coletados no segundo dia de postura de cada fêmea e, em seguida, tratados em solução de sulfato de cobre a 1% para evitar contaminações. O papel manteiga com os ovos aderidos contendo cerca de 100 ovos de cada casal foi cortado e colocado em placas de Petri de vidro, medindo 6 cm de diâmetro x 2 cm de altura, forradas com disco de papel filtro umedecido com água destilada e vedadas com plástico-filme (Figura 19). Quando as lagartas eclodiram, avaliou-se a viabilidade do ovo e o período de incubação. Os ovos foram mantidos sob condições ambientais à temperatura de $27 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 horas.

Figura 19. Ovos de *Diatraea saccharalis* em placas de Petri com papel filtro umedecido em água destilada para avaliação da eclosão.

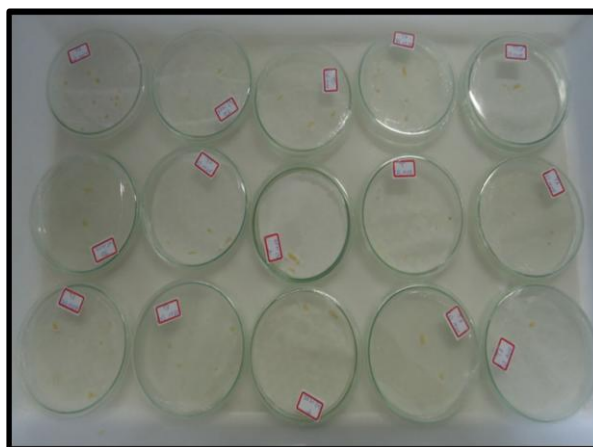


Foto: Autora, 2014.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado consistindo de cinco tratamentos e 15 repetições. Os períodos de pré-oviposição, oviposição e pós-oviposição, bem como a capacidade de oviposição diária e total foram transformados em $\sqrt{(x+1)}$, e submetidos à análise de variância (ANOVA) sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade por meio do programa estatístico Assistat – versão 7.7 beta (SILVA, 2014).

4.2.7 Tabela de vida de fertilidade de *Diatraea saccharalis*

Os dados da biologia de *D. saccharalis* alimentada com dieta artificial padrão (sem pó de cana-de-açúcar) e com dieta contendo pó de cana-de-açúcar adubada ou não com diferentes doses de Agrosilício, foram utilizados para o cálculo da tabela de vida de fertilidade, de acordo com Andrewartha; Birch (1954). Foram calculados os seguintes parâmetros: taxa líquida de reprodução (R_0), ou seja, o número de fêmeas produzidas por fêmea ao longo de sua vida; taxa líquida de aumento (r_m), correspondente à taxa de crescimento populacional; intervalo médio entre gerações (T), tempo de eclosão das lagartas de uma geração e da seguinte; razão finita de crescimento (λ), representando o fator de multiplicação da população original a cada intervalo unitário de tempo; e o tempo necessário para duplicar a população inicial (TD).

Os cálculos foram baseados nas seguintes equações:

$$R_0 = \sum (mx_lx);$$

$$T = (\sum mx_lx \cdot x) / \sum (mx_lx)$$

$$r_m = \ln R_0 / T$$

$$\lambda = e^{r_m}$$

$$TD = \ln (2) / r_m$$

Onde;

x = intervalos de idade;

mx = fertilidade específica;

lx = probabilidade de sobrevivência;

R_0 = taxa líquida de reprodução;

r_m = taxa intrínseca de aumento populacional;

T = intervalo entre gerações;

λ = razão finita de aumento populacional;

TD = tempo necessário para a população duplicar.

A partir desses resultados, foram estimados os parâmetros de crescimento populacional mediante a tabela de vida de fertilidade para *D. saccharalis* nas diferentes dietas, empregando-se o programa estatístico SAS (SAS Institute 1999-2001), utilizando o método *Jackknife* para estimar erros das médias dos tratamentos e, conseqüentemente, realizar comparações entre pares de tratamentos.

4.2.8 Interferência de *Diatraea saccharalis* alimentadas com diferentes dietas artificiais na biologia de *Cotesia flavipes*

Para o acompanhamento da biologia de *C. flavipes* parasitando lagartas de *D. saccharalis* criadas nas diferentes dietas testadas, foram selecionadas para o parasitismo, 300 lagartas de *D. saccharalis* (60 lagartas/tratamento) com 14 dias de idade. Anteriormente, essas lagartas foram mantidas alimentando-se da sua respectiva dieta. As lagartas foram oferecidas individualmente às fêmeas de *C. flavipes* para que houvesse a introdução do ovipositor e postura dos ovos no interior das lagartas (Figura 20).

Figura 20. Lagarta de *Diatraea saccharalis* sendo oferecida ao parasitoide *Cotesia flavipes*.



Foto: Autora, 2014.

Após o parasitismo, a fêmea de *C. flavipes* era descartada, e a lagarta já parasitada, individualizada em placas de Petri de 6 cm x 2 cm contendo em seu interior um cubo da dieta de realimentação da respectiva dieta em que fora criada desde a eclosão até os 14 dias. Posteriormente, as placas de Petri foram mantidas sob condições climáticas com temperatura de $27\pm 1^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $70\pm 10\%$ e 12 horas de fotofase até a formação das pupas (massa cotonosa) (Figura 21). Após a formação das pupas, estas foram individualizadas em

vidros de fundo chato de 8,5 cm x 2,5 cm vedado com filme plástico onde permaneceram até a emergência e morte dos adultos (Figura 22).

Foram avaliados a duração de período de ovo a pupa (formação da massa cotonosa), o peso da massa cotonosa com 24 horas de formação, período de pupa, a viabilidade pupal, o número de parasitoides emergidos, razão sexual, número total de casulos, longevidade dos adultos e a porcentagem de parasitismo.

Figura 21. Formação da massa cotonosa de *Cotesia flavipes*. A- Larvas de *C. flavipes* no último estágio quando as larvas migram para fora do corpo do hospedeiro, B- Larvas tecendo casulo onde empupam e C- Casulos unidos formando uma massa cotonosa branca de onde emergem os adultos.

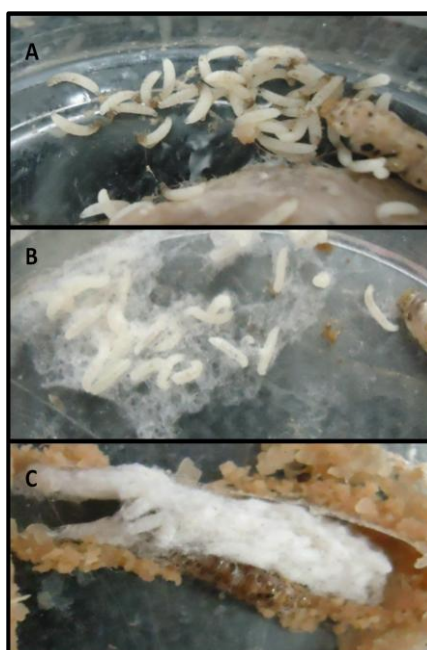


Foto: Autora, 2014.

Figura 22. Massa cotonosa e adultos de *Cotesia flavipes* em tubo de fundo chato de 8,5 cm x 2,5 cm vedado com filme plástico onde permaneceram até a morte dos adultos.



Foto: Autora, 2014.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado consistindo de cinco tratamentos e 20 repetições, onde cada parcela era composta por três insetos. Os dados da biologia foram transformados em $\sqrt{(x+1)}$, exceto o da viabilidade pupal que foram transformadas em arco seno $\sqrt{(x/100)}$. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade por meio do programa estatístico Assistat – versão 7.7 beta (SILVA, 2014).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Tabela de vida de fertilidade de *Diatraea saccharalis*

Com base nas características da história de vida de lagartas de *D. saccharalis* alimentadas com diferentes dietas, observou-se que as dietas influenciaram nos parâmetros da tabela de vida de fertilidade de *D. saccharalis* nas condições do estudo.

De acordo com os resultados da tabela de vida de fertilidade, foi possível observar que *D. saccharalis* criada em dieta contendo colmo seco triturado de cana-de-açúcar adubada com 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício apresentou o pior desempenho, com menor taxa líquida de reprodução (R_0), menor taxa intrínseca de crescimento populacional (r_m) e menor razão finita de aumento populacional (λ). Além disso, apresentou o maior tempo para duplicar a população (TD) (Tabela 8).

Tabela 8. Parâmetros da tabela de vida de fertilidade: Taxa líquida de reprodução (R_0), taxa intrínseca de aumento populacional (r_m), intervalo entre gerações (T), tempo para duplicar a população (TD) e razão finita de aumento populacional (λ) de *Diatraea saccharalis* criada em diferentes dietas.

Dieta	Parâmetros de crescimento ¹				
	R_0	r_m	T	TD	λ
T ²	240,48 ± 39,40 a	0,1360 ± 0,0066 a	40,365 ± 0,740 a	5,096 ± 0,240 b	1,146 ± 0,007 a
T0	335,16 ± 93,30 a	0,1449 ± 0,0080 a	40,190 ± 0,389 a	4,782 ± 0,230 b	1,156 ± 0,008 a
T1	237,44 ± 39,21 a	0,1323 ± 0,0049 ab	41,362 ± 0,386 a	5,236 ± 0,192 ab	1,142 ± 0,006 a
T2	238,98 ± 60,46 ab	0,1370 ± 0,0080 ab	40,028 ± 0,637 a	5,057 ± 0,286 ab	1,147 ± 0,008 a
T3	159,61 ± 37,95 b	0,1230 ± 0,0063 b	41,273 ± 0,701 a	5,630 ± 0,292 a	1,131 ± 0,004 b

¹Médias (± Intervalo de confiança a 95% de probabilidade) seguidas por mesma letras nas colunas não diferem significativamente por pares de comparação com base no erro estimado pelo método *Jackknife* (Maia et al. 2000).

²T: Dieta sem a incorporação de cana-de-açúcar; T0: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta não foi adubada com Agrosilício; T1: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com 2,0 t ha⁻¹ Agrosilício; T2: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com 4,0 t ha⁻¹ Agrosilício; e T3: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com 6,0 t ha⁻¹ Agrosilício.

A taxa líquida de reprodução (R_0) de *D. saccharalis* alimentada com a dieta padrão (sem pó da cana-de-açúcar) foi de 240,48, indicando que cada fêmea, ao longo de sua vida, tem a capacidade de gerar cerca de 240 novas fêmeas. Essa taxa na dieta padrão não diferiu significativamente em relação às lagartas que foram alimentadas com as dietas que receberam o pó da cana-de-açúcar sem adubação e das plantas adubadas com 2,0 e 4,0 t ha⁻¹ de Agrosilício (Tabela 8).

A maior taxa líquida de reprodução foi das lagartas alimentadas com a dieta que continha o pó da cana-de-açúcar sem adubação, onde cada fêmea pôde gerar cerca de 335 novas fêmeas (Tabela 8). Esses resultados poderiam ser de grande valia para as biofábricas de *D. saccharalis*, tendo em vista que a incorporação do pó da cana-de-açúcar na dieta usual (padrão) poderia aumentar a produção de fêmeas. Entretanto, com base nos resultados encontrados, apesar da dieta padrão não diferir estatisticamente da dieta já utilizada para criações massais, outros estudos seriam necessários para confirmar esse benefício.

A menor taxa líquida de reprodução foi nas lagartas que receberam a dieta contendo o pó da cana-de-açúcar adubada com 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício, em que cada fêmea foi capaz de gerar 160 novas fêmeas (Tabela 8). Esses resultados parecem ser promissores para a lavoura canavieira, tendo em vista o reduzido número de insetos que seriam gerados quando comparados com a dieta em que foi incorporado o pó da cana-de-açúcar sem adubação com o Agrosilício ($R_0=335,16$), ocasionando uma redução de aproximadamente 52%.

Os resultados sugerem que o pó do colmo da cana-de-açúcar adubada com Agrosilício possa conter substâncias capazes de inibir o desenvolvimento do inseto, tendo em vista que o silício é capaz de conferir resistência por antibiose e antixenose, provavelmente por formar uma barreira física pela deposição de sílica nos tecidos da planta, tornando-os mais rígidos (CARVALHO; MORAES; CARVALHO, 1999; MORAES et al., 2004; KVEDARAS; KEEPING, 2007) e pela indução de compostos de defesa na planta, como as peroxidases, as polifenoloxidasas, as quitinas (CHÉRIF; ASSELIN; BÉLANGER, 1994; GOMES et al., 2005), lignina e os taninos (GOMES et al., 2008).

Os resultados encontrados nesse estudo corroboram com os de Dias (2012), que também estudou a indução de resistência pela adubação silicatada com a aplicação de 0,6 tha⁻¹ de sílica gel (0,3 t ha⁻¹ dissolvida em água e 0,3 t ha⁻¹ triturada) em plantas de trigo às formas aladas e ápteras do pulgão *Sitobion avenae* (Fabricius, 1775) (Hemiptera: Aphididae). Essa autora encontrou valores maiores na taxa líquida de reprodução (R_0) para os insetos ápteros na

testemunha, indicando que o silício influenciou na redução da fecundidade desses insetos, porém não influenciou, nessa característica, para os alados.

Analizando os valores da taxa intrínseca de crescimento populacional (r_m) de *D. saccharalis* alimentadas com diferentes dietas, o menor valor ($r_m=0,1230$) foi observado quando estas foram alimentada com dieta contendo pó do colmo adubado com $6,0 \text{ t ha}^{-1}$ de Agrosilício, diferindo significativamente dos insetos que receberam a dieta padrão e a dieta com a incorporação do colmo sem adubação (Tabela 8). O principal dado que se obtém ao fazer uma tabela de vida de fertilidade, é a taxa intrínseca de aumento populacional (r_m) (PEDIGO; ZEISS, 1996) e, segundo Andrewartha; Birch (1954), quanto maior o valor de r_m mais bem sucedida será a espécie, em um determinado ambiente.

Não houve diferença significativa do intervalo médio entre as gerações (T) de *D. saccharalis* nas cinco dietas estudadas, ou seja, a duração média do período entre o nascimento dos indivíduos de uma geração e o da geração seguinte é semelhante, com médias que variam entre 40 e 41 dias aproximadamente (Tabela 8). Esse intervalo médio entre as gerações foi bem inferior ao encontrado por Botelho (1985), estudando a tabela de vida ecológica, em campo, com *D. saccharalis* em cana-de-açúcar, em que os valores para a duração média da geração (T) foram de 63,8, 75,1, 98,2 e 120,5 nas estações da Primavera, Verão, Outono e Inverno, respectivamente. Essa grande diferença, pode estar associada ao fato de a tabela de vida de fertilidade ter sido realizada no laboratório, enquanto a de vida ecológica foi feita no campo, onde as taxas de mortalidade e reprodução podem depender de fatores bióticos (parasitoides, predadores e patógenos) e abióticos (clima, alimento, etc.) (Nava et al., 2004).

O tempo para que ocorra a duplicação da população (TD) de *D. saccharalis* foi estatisticamente diferente com relação às dietas testadas nas condições do estudo. A menor média (4,7817 dias) foi encontrada para as lagartas alimentadas com a dieta contendo pó do colmo da cana-de-açúcar sem adubação. Esse tratamento não diferiu estatisticamente das dietas padrão e das que receberam pó do colmo adubado com $2,0$ e $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ de Agrosilício. Por outro lado, a população alimentada com a dieta cotendo o pó do colmo de plantas adubadas com $6,0 \text{ t ha}^{-1}$ de Agrosilício apresentou o maior tempo de duplicação da população (5,630 dias) (Tabela 8).

A razão finita de aumento (λ), responsável pela indicação do número de vezes em que a população multiplica por dia, apresentou diferença significativa entre as cinco dietas avaliadas. A menor média (1,131) foi registrada para as lagartas de *D. saccharalis*

alimentadas com a dieta contendo o pó da cana-de-açúcar adubada com 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício, indicando que essa população cresce cerca de 13% a cada dia, diferindo significativamente das demais populações, que, por sua vez, não diferiram entre si, variando entre 14 e 15% o aumento populacional a cada dia (Tabela 8).

Neste estudo, os valores da razão finita de aumento (λ), que variaram de 1,131 a 1,156, foram diferentes daqueles encontrados por Botelho (1985), em que os valores obtidos para λ nas estações da Primavera, Verão, Outono e Inverno foram, respectivamente, 1,0341, 1,0379, 1,0214 e 1,0109. Essa diferença poderia ser explicada devido ao fato de a pesquisa desse autor ter sido realizado em campo, onde o inseto sofre influência de fatores bióticos e abióticos, reduzindo, dessa maneira, o número de descendentes (NAVA et al., 2004).

Em plantas de trigo adubadas com sílica gel, não foram encontradas diferenças significativas para a taxa intrínseca de aumento populacional (r_m) e razão finita de aumento populacional (λ) do pulgão *S. avenae*, com relação as plantas de trigo adubadas e não adubadas com silício (DIAS, 2012). Em plantas de trigo adubadas com silicato de cálcio e pré-infestadas com pulgões *S. graminum*, a taxa intrínseca de aumento populacional foi menor ($r_m=0,14$), quando comparadas às plantas controle (sem silício e sem a pré-infestação) ($r_m=0,37$) (GOMES et al., 2005).

Por ocasião do desenvolvimento do presente trabalho, encontraram-se apenas dois estudos da tabela de vida de fertilidade de *D. saccharalis*, ambos com objetivos distintos ao deste trabalho. O primeiro foi realizando por Lima (2011), com o objetivo de comparar diferentes dietas artificiais com diferentes fontes proteicas para criação de *D. saccharalis*. Para o tratamento testemunha (dieta artificial padrão de Hensley; Hammond, 1968), o autor obteve os seguintes valores: taxa líquida de reprodução $R_0 = 446,7$, duração das gerações $T = 49,08$, taxa intrínseca de aumento populacional $r_m = 0,1243$ e razão finita de aumento populacional $\lambda = 1,1324$. Apenas os valores de r_m e λ foram semelhantes aos encontrados no presente trabalho.

O segundo estudo foi realizado por Silva (2012), que avaliou a substituição do formaldeído pela associação tiocianato-bis-metileno (10%) e 2-tiocianometil-tiobenzotiazol (10%), um componente experimental menos nocivo à saúde humana. As lagartas de *D. saccharalis* foram alimentadas com a dieta artificial de Hensley; Hammond (1968), sendo uma mantida com a composição original (testemunha) e outras cinco dietas com substituição do formaldeído pela associação tiocianato-bis-metileno (10%) e 2-tiocianometil-tiobenzotiazol (10%) em diversas concentrações. Ao analisar a testemunha, pôde-se observar

um valor maior, quando comparado ao deste trabalho, para a taxa líquida de reprodução (R_0) de 346,4, e um valor menor para a duração das gerações (T) de 36,89 dias, onde a partir desses, foi possível calcular a taxa intrínseca de aumento populacional (r_m) e a razão finita de aumento (λ) que foram de 0,1585 e 1,1718, respectivamente. Os valores encontrados por Silva (2012) foram superiores aos encontrados neste trabalho, exceto para o tempo entre as gerações (T).

4.3.2 Fecundidade de *Diatraea saccharalis* em cinco dietas artificiais

Não houve diferença estatística entre o período de pré-oviposição, período de oviposição, capacidade de oviposição diária e total e período pós-oviposição com relação às diferentes dietas testadas (Tabela 9). Tendo em vista que os valores da taxa líquida de reprodução (R_0) foram decrescentes com o aumento das doses do Agrosilício (Tabela 8), e que não houve diferença significativa na capacidade de oviposição de *D. saccharalis*, esse fato pode ser explicado levando-se em consideração que a taxa líquida de reprodução reflete a mortalidade de imaturos e a fecundidade das fêmeas.

Tabela 9. Média ($\pm$ E.P.) da fecundidade de *Diatraea saccharalis* alimentadas em diferentes dietas artificiais. Temperatura de 21 ± 1 °C, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 horas.

Dieta	Pré-oviposição (dias) ^{ns}	Oviposição (dias) ^{ns}	Capacidade de oviposição		Pós-oviposição (dias) ^{ns}
			Diária ^{ns}	Total ^{ns}	
T ¹	2,93 $\pm$ 0,21	6,33 $\pm$ 0,50	133,59 $\pm$ 13,02	830,33 $\pm$ 88,58	1,00 $\pm$ 0,29
T0	3,00 $\pm$ 0,20	6,07 $\pm$ 0,64	138,85 $\pm$ 14,10	847,87 $\pm$ 110,05	1,20 $\pm$ 0,20
T1	3,07 $\pm$ 0,27	5,67 $\pm$ 0,59	164,08 $\pm$ 21,32	799,47 $\pm$ 70,69	1,00 $\pm$ 0,22
T2	2,93 $\pm$ 0,30	5,40 $\pm$ 0,54	148,92 $\pm$ 22,61	707,20 $\pm$ 86,31	1,33 $\pm$ 0,57
T3	2,80 $\pm$ 0,26	4,80 $\pm$ 0,65	168,73 $\pm$ 17,49	734,53 $\pm$ 81,42	1,07 $\pm$ 0,21
C.V.%	14,43	18,17	24,11	25,21	26,09

^{ns} Não houve diferença entre os tratamentos ($P > 0,05$).

¹T: Dieta sem a incorporação de cana-de-açúcar; T0: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta não foi adubada com Agrosilício; T1: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com 2,0 t ha⁻¹ Agrosilício; T2: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com 4,0 t ha⁻¹ Agrosilício; e T3: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com 6,0 t ha⁻¹ Agrosilício.

O período de pré-oviposição teve médias variando de 2,80 a 3,07 dias, enquanto que para o período de oviposição, as médias variaram entre 4,80 a 6,33 dias. As fêmeas de *D. saccharalis* ovipositaram com médias variando de 133,59 a 168,73 ovos por dia, e 707,20 a

847,87 ovos durante toda a fase adulta. Após a fase reprodutiva, as fêmeas sobreviveram por apenas um dia, aproximadamente (Tabela 9).

Tendo em vista que não há relatos da influência do silício nos aspectos biológicos de *D. saccharalis*, e comparando estes resultados com outros trabalhos com o mesmo objetivo, podemos afirmar que estes dados corroboram com os de Korndörfer (2010), que também não encontrou diferença significativa no período de pré-oviposição e na fecundidade e fertilidade das fêmeas de *Mahanarva fimbriolata* (Stål, 1854) (Hemiptera: Cercopidae) em cana-de-açúcar quando adubadas com 0,8 t ha⁻¹ de silicato de cálcio e magnésio.

Basagli et al. (2003) concluíram que a aplicação de silicato de sódio em plantas de trigo, visando à resistência ao pulgão-verde *S. graminum*, reduziu a longevidade e reprodução, porém não foram detectadas diferenças estatísticas significativas para os períodos de pré-reprodução e reprodução. Silva et al. (2014) não encontraram diferença significativa no número de ovos de *S. frugiperda* em cultivares de algodoeiro tratadas ou não com silício.

4.3.3 Interferência de *Diatraea saccharalis* alimentadas com diferentes dietas artificiais na biologia de *Cotesia flavipes*

Ao verificar o efeito das lagartas de *D. saccharalis* alimentadas com diferentes dietas artificiais sobre a biologia do parasitoide *C. flavipes*, não foram encontradas diferenças significativas para todos os parâmetros biológicos avaliados (Tabelas 10, 11 e 12). Nas lagartas alimentadas com as diferentes dietas e submetidas ao parasitoide, constatou-se 100% de parasitismo.

Tabela 10. Média ($\pm$ E.P.) dos períodos de ovo-pupa, pupa e longevidade de *Cotesia flavipes*. Temperatura de 27 $\pm$ 1 °C, umidade relativa de 70 $\pm$ 10% e 12 horas de fotofase.

Dieta	Período ovo-pupa (dias) ^{ns}	Período pupal (dias) ^{ns}	Longevidade (dias) ^{ns}
T ¹	10,00	5,45 $\pm$ 0,11	1,60 $\pm$ 0,13
T0	10,00	5,15 $\pm$ 0,08	1,65 $\pm$ 0,11
T1	10,00	5,20 $\pm$ 0,09	1,55 $\pm$ 0,11
T2	10,00	5,40 $\pm$ 0,11	1,60 $\pm$ 0,11
T3	10,00	5,15 $\pm$ 0,08	1,75 $\pm$ 0,10
C.V. %	-	3,42	9,99

^{ns} Não houve diferença entre os tratamentos ($P > 0,05$).

¹T: Dieta sem a incorporação de cana-de-açúcar; T0: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta não foi adubada com Agrosilício; T1: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com 2,0 t ha⁻¹ Agrosilício; T2: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com 4,0 t ha⁻¹ Agrosilício; e T3: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com 6,0 t ha⁻¹ Agrosilício.

Tabela 11. Número médio ($\pm$ E.P.) de machos e fêmeas de *Cotesia flavipes*. Temperatura de 27 ± 1 °C, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e 12 horas de fotofase.

Dieta	Número ^{ns}		Razão sexual ^{ns}
	Fêmea	Macho	
T ¹	26,60 $\pm$ 14,06	18,00 $\pm$ 6,99	0,46 $\pm$ 0,17
T0	18,20 $\pm$ 7,18	43,40 $\pm$ 15,11	0,39 $\pm$ 0,18
T1	21,40 $\pm$ 8,77	39,20 $\pm$ 9,21	0,36 $\pm$ 0,14
T2	42,00 $\pm$ 12,31	13,00 $\pm$ 1,92	0,67 $\pm$ 0,14
T3	29,00 $\pm$ 8,24	30,40 $\pm$ 6,22	0,48 $\pm$ 0,12
C.V. %	50,37	36,20	11,76

^{ns} Não houve diferença entre os tratamentos ($P > 0,05$).

¹T: Dieta sem a incorporação de cana-de-açúcar; T0: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta não foi adubada com Agrosilício; T1: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com 2,0 t ha⁻¹ Agrosilício; T2: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com 4,0 t ha⁻¹ Agrosilício; e T3: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com 6,0 t ha⁻¹ Agrosilício.

Tabela 12. Número médio ($\pm$ E.P.) do peso da massa cotonosa, número de pupas, número de adultos emergidos e viabilidade pupal de *Cotesia flavipes*. Temperatura de 27 ± 1 °C, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e 12 horas de fotofase.

Dieta	Peso da massa cotonosa (mg) ^{ns}	Número ^{ns}		Viabilidade pupal (%) ^{ns}
		Pupa/massa	Adultos emergidos	
T	0,074 $\pm$ 0,003	66,60 $\pm$ 6,62	45,20 $\pm$ 12,14	79,10 $\pm$ 17,16
T0	0,068 $\pm$ 0,004	63,40 $\pm$ 8,37	61,60 $\pm$ 9,27	95,96 $\pm$ 2,51
T1	0,072 $\pm$ 0,003	64,80 $\pm$ 3,37	60,60 $\pm$ 4,08	93,41 $\pm$ 2,99
T2	0,067 $\pm$ 0,004	57,20 $\pm$ 10,05	55,00 $\pm$ 10,99	93,57 $\pm$ 4,23
T3	0,069 $\pm$ 0,003	63,00 $\pm$ 5,97	60,20 $\pm$ 6,32	95,43 $\pm$ 2,83
C.V. %	0,72	13,81	20,77	19,92

^{ns} Não houve diferença entre os tratamentos ($P > 0,05$).

¹T: Dieta sem a incorporação de cana-de-açúcar; T0: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta não foi adubada com Agrosilício; T1: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com 2,0 t ha⁻¹ Agrosilício; T2: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com 4,0 t ha⁻¹ Agrosilício; e T3: Dieta com a incorporação de cana-de-açúcar triturada, cuja planta foi adubada com 6,0 t ha⁻¹ Agrosilício.

O período de ovo-pupa foi igual em todos os tratamentos, não sendo possível realizar a análise estatística, pois não houve diferença entre eles, sendo o erro padrão igual a zero. Para o período pupal, as médias variaram de 5,15 a 5,45 dias e a longevidade de 1,55 a 1,75 dias (Tabela 10).

O número de machos e fêmeas que emergiram de lagartas de *D. saccharalis* alimentadas com as diferentes dietas testadas foram estatisticamente semelhantes, com médias variando de 18,20 a 42,00 fêmeas, e de 13,00 a 43,40 machos, resultando numa razão sexual que variou de 0,36 a 0,67 (Tabela 11).

O peso da massa cotonosa variou com médias de 0,067 a 0,074 mg, enquanto que o número médio de pupas/massa variou de 57,20 a 66,60 pupas. O número médio de adultos emergidos variou de 45,20 a 61,60 adultos/massa, resultando numa viabilidade pupal de 79,10% e 95,96% respectivamente, (Tabela 12).

Uma pesquisa para observar o efeito indireto da aplicação de 2,5 g.kg⁻¹ de silicato de cálcio (38% SiO₂) em plantas de trigo no desenvolvimento de dois importantes inimigos naturais *C. externa* e *A. colemani* do pulgão-verde *S. graminum*, foi realizada por Moraes et al. (2004). Esses autores verificaram que tanto o predador quanto o parasitoide não sofreram alterações na sua biologia quando se alimentaram de pulgões provenientes de plantas tratadas com silício.

Kvedaras et al. (2010) verificaram uma maior atratividade do predador *Dicranolaius bellulus* (Guérin-Meneville, 1830) (Coleoptera: Melyridae), em plantas de pepino tratadas com silicato de potássio e submetidas à infestação pela praga *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1809) (Lepidoptera: Noctuidae), em campo e laboratório.

Tendo em vista que não ocorreram alterações na biologia do parasitoide *C. flavipes*, e com base nos estudos realizados por Reynolds et al. (2009) e Kvedaras et al. (2010), mostrando que o silício pode melhorar a defesa da planta hospedeira através da intensificação da atração de inimigos naturais e o consequente controle biológico, são notórios os benefícios da adubação silicatada em conjunto com o controle biológico para minimizar os danos provocados por *D. saccharalis*, porém, são necessários mais estudos em nível de campo para a confirmação destes resultados.

4.4 CONCLUSÕES

→ A taxa líquida de reprodução (R_0) e a taxa intrínseca de aumento populacional (r_m) de *D. saccharalis* são inferiores quando o pó do colmo da variedade SP791011 adubada com 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício é incorporado na dieta desses insetos;

→ O tempo entre as gerações (T) de *D. saccharalis* não sofre influência com doses crescentes de Agrosilício em plantas processadas e incorporadas a dieta artificial;

→ O tempo necessário para a população de *D. saccharalis* multiplicar (TD), aumenta quando se adiciona o pó do colmo da variedade SP791011 adubada com Agrosilício;

→ A razão finita de aumento populacional (λ) é prejudicada quando *D. saccharalis* é alimentada com dieta artificial contendo pó do colmo da variedade SP791011 adubada com 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício;

→ A capacidade de oviposição de *D. saccharalis* não é afetada quando as lagartas são alimentadas com dietas artificiais contendo o pó do colmo da variedade SP791011 adubada com doses de até 6,0 t ha⁻¹ de Agrosilício;

→ Lagartas de *D. saccharalis*, alimentadas com dietas artificiais contendo o pó do colmo da variedade SP791011 adubada com doses de até 6,0 t ha⁻¹, não interferem na biologia do seu parasitoide *C. flavipes*.

REFERÊNCIAS

- Andrewartha, H. G.; Birch, L. C. The innate capacity for increase in numbers. In: Andrewartha, H. G.; Birch, L. C. (Ed.). **The distribution and abundance of animals**. Chicago: University of Chicago Press, 1954. p. 31-54.
- Basagli et al. Effect of Sodium Silicate Application on the Resistance of Wheat Plants to the Green-Aphids *Schizaphis graminum* (Rond., 1852) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, v. 32, n. 4, p. 659-663, 2003.
- Botelho, P. S. M. **Tabela de vida ecológica e simulação da fase larval da *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794) (Lep.: Pyralidae)**. 1985. 110f. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.
- Cardoso, A. M. et al. Efeito de diferentes adubações na eficiência de *Baculovirus spodoptera* para controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) na cultura do milho *Zea mays* L. **Ecossistema**, v. 20, p. 24-130. 1995.
- Carvalho, S. K.; Moraes, J. C.; Carvalho, J. G. Efeito do silício na resistência do sorgo (*Sorghum bicolor*) ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani) (Homoptera: Aphididae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 28, p. 505-510, 1999.
- Chérif, A.; Asselin, A.; Bélanger, R.R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, v. 84, p. 236-242, 1994.
- Datnoff, L. E.; Snyder, G. H.; Korndörfer, G. H. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: Datnoff, L. E.; Snyder, G. H.; Korndorfer, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p.17-39.
- Dias, P. A. S. **Silício na indução de resistência em plantas de trigo às formas aladas e ápteras de *Sitobion avenae* (Fabricius) (Hemiptera: Aphididae)**. 2012. 44f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais. 2012.
- Feng, M. J. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 50, n. 1, p. 11-18, 2004.

Fernandes, O.W.B. **Avaliação de variedades de cana-de-açúcar para a produção de cachaça artesanal e a interferência dos resultados no comportamento do produtor na região de Salinas-MG: uma contribuição extensionista**. 2005. 83f. Dissertação (Mestrado em Educação Profissional Agrícola) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

Gamarra, D.C.; Bueno, V. H. P.; Auad, A. M. Efecto de los tricomas glandulares de *Solanum berthaultii* en el parasitismo de *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Aphidiidae) sobre *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). **Vedalia**, v. 4, p. 21-23, 1997.

Gomes, F.B. et al. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 6, p. 547-551, 2005.

Gomes, F. B. et al. Uso do silício como indutor de resistência em batata a *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, v. 37, n. 2, p. 185-190, 2008.

Goussain, M.M. et al. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.

Hensley, S. D.; Hammond, A. H. Laboratory techniques for rearing the sugar cane borer on an artificial diet. **Journal of Economic Entomology**, v. 61, n. 6, p. 1742-1743, 1968.

Hunt, D. W. A.; Drury, C. F.; Maw, H. E. L. Influence of nitrogen on the performance of Colorado potato beetle on tomato. **Environmental Entomology**, v. 21, p. 817-821, 1992.

Keeping, M. G.; Kvedaras, O. L. Silicon as a plant defence against insect herbivory: response to Massey, Ennos and Hartley. **Journal of Animal Ecology**, v. 77, p. 631-633, 2008.

Korndörfer, G. H.; Pereira, H. S.; Camargo, M. S. Papel do Si na produção de cana-de-açúcar. **Boletim Técnico – STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 21, n. 2, p. 06-09, 2002.

Korndörfer, A. P. **Efeito do silício na indução de resistência à cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata* Stål (Homoptera: Cercopidae) em cultivares de cana-de-açúcar**. 2010. 101f. Tese (Doutorado em Entomologia) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2010.

Kvedaras, O.L. et al. Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defences. **Bulletin of Entomological Research**, v.100, n. 3, p. 367-371, 2010.

Kvedaras, O. L.; Keeping, M.G. Silicon impedes stalk penetration by the borer *Eldana saccharina* in sugarcane. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.125, p. 103-110, 2007.

Laing, M. D.; Adandonon, A. Silicon and insect management: review. In: III Silicon in agriculture conference, 3., 2005, Uberlândia. **Anais...**Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2005. p. 41-50.

Lima, A.A. **Comparação de dietas artificiais para criação de *Datraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) e avaliação da qualidade de *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) em criações massais**. 2011. 96f. Dissertação (Mestrado em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio) - Instituto Biológico - São Paulo. 2011.

Ma, J. F.; Takahashi, E. Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan. **Elsevier Science**, Amsterdam, p. 281, 2002.

Messina, F.J.; Sorenson, S.M. Effectiveness of lacewing larvae in reducing Russian Wheat Aphid populations on susceptible and resistant wheat. **Biological Control**, v. 21, p. 19-26, 2001.

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

Moraes, J. C. et al. Silicon influence on the tritrophic interaction: wheat plants, the Gressnbug *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae), and its natural enemies, *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) and *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae). **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 5, p. 619-624, 2004.

Nascimento, A.M. **Indução de resistência em arroz a *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera Noctuidae) pela aplicação de silício**. 2013. 43f. Dissertação (Mestrado em Entomologia agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2013.

Nava, D. E. et al. Biologia e Tabela de Vida de Fertilidade de *Deuterollyta majuscula* (Lep.: Pyralidae) em abacateiro (*Persea americana* MILL.) **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 234-236, 2004.

Pedigo, L. P.; Zeiss, M. R. Developing a degree-day model for predicting insect development. In: Pedigo, L. P.; Zeiss, M. R.(Ed.). **Analyses in insect ecology and management**. Ames: Iowa State University Press, 1996. p. 67-74.

Prado, R.M.; Fernandes, F.M.; Natale, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27 n.2, p. 287-296, 2003.

Reynolds, O.L.; Keeping, M.G.; Meyer, J.H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. **Annals of Applied Biology**, v. 155, p. 171-186, 2009.

Santos, M. C. **Efeito de silício em características morfológicas, comportamentais e na história de vida da traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)**. 2012. 75f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília. 2012.

SAS Institute. 1999-2001. SAS user's guide: Statistics, version 8.2, 6th ed. SAS Institute, Cary, NC.

Silva, A. A. et al. (2014) Biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em Algodoeiro de Fibra Colorida Tratado com Silício. **Entomo Brasilis**, v. 7, n. 1, p. 65-68, 2014.

Silva, M.G.M.F. **Substituição do formaldeído na dieta artificial para criação de *Diatraea saccharalis* (Lepdoptera: Crambidae): efeito na biologia do hospedeiro e de seu parasitoide *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae)**. 2012. 82f. Dissertação (Mestrado em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio) - Instituto biológico-São Paulo. 2012.

Silva, F. S. Assistat – Assistência Estatística, versão 7.7. Disponível em: <<http://www.assistat.com>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

Southwood, T. R. E. **Ecological methods with particular references to the study of insect populations**. 2. ed. New York: Chapman & Hall, 1978. 524 p.

Van Driesche, R.G.; Bellows Junior, T. S. **Biological control**. New York: Chapman & Hall, 1996. 539 p.