



FERNANDA DA SILVA FERREIRA

**SILÍCIO E FOSFITOS NA RESISTÊNCIA E TOLERÂNCIA A
Chrysodeixis includens E *Helicoverpa armigera* (LEPIDOPTERA:
NOCTUIDAE) EM ALGODOEIRO**

LAVRAS-MG

2024

FERNANDA DA SILVA FERREIRA

**SILÍCIO E FOSFITOS NA RESISTÊNCIA E TOLERÂNCIA A *Chrysodeixis includens*
E *Helicoverpa armigera* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) EM ALGODOEIRO**

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

Prof. Dr. Bruno Henrique Sardinha de Souza
Orientador

LAVRAS-MG

2024

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Ferreira, Fernanda da Silva.

Silício e fosfitos na resistência e tolerância a *Chrysodeixis
includens* e *Helicoverpa armigera* (lepidoptera: noctuidae) em
algodoeiro / Fernanda da Silva Ferreira. - 2023.

131 p.

Orientador(a): Bruno Henrique Sardinha de souza.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. resistência de plantas a insetos. 2. plantas transgênicas. 3.
respostas induzidas de defesa. I. Sardinha de souza, Bruno
Henrique. II. Título.

FERNANDA DA SILVA FERREIRA

**SILÍCIO E FOSFITOS NA RESISTÊNCIA E TOLERÂNCIA A *Chrysodeixis includens*
E *Helicoverpa armigera* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) EM ALGODOEIRO**

**SILICON AND PHOSPHITES IN RESISTANCE AND TOLERANCE TO
CHRYSODEIXIS INCLUDENS AND *HELICOVERPA ARMIGERA* (LEPIDOPTERA:
NOCTUIDAE) IN COTTON**

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

APROVADA em 16 de agosto de 2023.

Dr. Bruno Henrique Sardinha de Souza - UFLA

Dr. Jacob Crosariol Netto – IMA- MT

Dr. Geraldo Andrade de Carvalho - UFLA

Dr. Marcus Vinícius Sampaio - UFU

Dr. Mario Lúcio Vilela de Resende - UFLA

Prof. Dr. Bruno Henrique Sardinha de Souza

Orientador

LAVRAS-MG

2024

AGRADECIMENTOS

A Deus, essa força que me motiva e ampara.

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

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

Ao professor Dr^o Bruno Henrique Sardinha de Souza, pelos ensinamentos, compreensão, incentivo e apoio durante essa trajetória árdua e satisfatória.

Aos professores do departamento por toda paciência e colaboração no meu processo de formação.

Aos antigos e atuais técnicos de laboratório da entomologia, Ana Paula, Léia, Érika e ao Carzinho e Ana do laboratório de fitopatologia. Muito obrigada pelo suporte técnico e emocional.

A minha família, em especial a minha mãe por entender a minha ausência física e por ter me encorajado nessa jornada.

Aos amigos que fiz em Minas Gerais, muito obrigada. Vocês coloriram essa fase de crescimento profissional com muito amor.

Aos colegas do Larp, pelo companheirismo e por encararem desafios mesmo na pandemia.

RESUMO

A aplicação de silício (Si) e de fertilizantes minerais nas plantas proporciona proteção mecânica à herbivoria em função do seu acúmulo nas células vegetais, proteção química pela produção de metabólitos que induzem a resistência à ação de pragas e patógenos. Estudos vem sendo realizados para validar o efeito da aplicação exógena desses compostos na alimentação e desenvolvimento de insetos desfolhadores e recentemente na tolerância. O objetivo geral deste trabalho foi investigar o papel da fertilização com Si, fosfito de potássio (K) com adição de Si e fosfito de cobre (Cu) como elicitores de resistência induzida a *Chrysodeixis includens* e *Helicoverpa armigera*, bem como no aumento da tolerância das plantas de algodão. No primeiro artigo avaliou-se a aplicação via solo de doses de Si na indução de resistência e tolerância de algodoeiro a *C. includens* e *H. armigera*; a etapa inicial consistiu em um ensaio de dose-resposta de Si nas características biológicas das pragas na fase vegetativa e reprodutiva do algodoeiro. A fertilização com Si reduziu a sobrevivência e promoveu a redução de peso das lagartas. Dentre as doses de Si testadas, 4 ton h⁻¹ foi a que sobressaiu, sendo selecionada para dar continuidade à segunda etapa do trabalho que avaliou o efeito da aplicação de Si na tolerância do algodoeiro à herbivoria de *C. includens*; a fertilização com Si, aumentou a altura e biomassa das folhas, ramos e raízes, além do teor foliar de Si e de clorofila. No segundo artigo, foi avaliada a aplicação de elicitores minerais no desempenho biológico de lagartas de *C. includes* e *H. armigera* em cultivares transgênica Bt e convencional de algodoeiro. As cultivares transgênicas no estágio vegetativo apresentaram resistência moderada a *C. includens*, e a fertilização com os produtos não afetaram o desempenho biológico das lagartas. Na fase reprodutiva do algodoeiro, a cultivar convencional proporcionou sobrevivência larval de 43%, que diferiu dos materiais transgênicos que ficaram abaixo de 7%. As cultivares transgênicas no estágio vegetativo expressaram moderada resistência a *H. armigera* e a fertilização com fosfito Cu proporcionou o maior consumo foliar. A sobrevivência larval de *H. armigera* na fase reprodutiva do algodoeiro foi afetada significativamente pelas cultivares; a cultivar convencional diferiu das transgênicas e proporcionou sobrevivência de 83%, enquanto nas cultivares Bt, ficaram abaixo de 7%. A aplicação foliar de fosfito K + Si reduziu o consumo foliar e diminuiu o peso larval de *H. armigera* na cultivar convencional. Foram observados efeitos significativos para a aplicação dos produtos à base de fosfito K + Si e fosfito Cu na matéria seca das plantas, sendo superiores à testemunha e similares entre si. Para a massa seca da raiz, os efeitos foram significativos para os fatores elicitor e herbivoria de forma isolada. A aplicação dos produtos dobrou a matéria seca da raiz, e a herbivoria de *C. includens* estimulou o aumento da massa seca da raiz das plantas. Novas informações podem utilizadas no manejo integrado de pragas, de modo que o Si pode atuar como um eficiente elicitor de e melhorar o crescimento das plantas.

Palavras-chave: resistência de plantas a insetos; plantas transgênicas; respostas induzidas de defesa; falsa-medideira; lagarta-da-maçã.

ABSTRACT

The application of silicon (Si) and mineral fertilizers to plants provides mechanical protection against herbivory due to its accumulation in plant cells, chemical protection through the production of metabolites that induce resistance to the action of pests and pathogens. Studies have been carried out to validate the effect of exogenous application of these compounds on the feeding and development of defoliating insects and recently on tolerance. The general objective of this work was to investigate the role of fertilization with Si (silicic acid), potassium phosphite (K) with addition of Si and copper phosphite (Cu) as elicitors of induced resistance to *Chrysodeixis includens* and *Helicoverpa armigera*, as well as in increased tolerance of cotton plants. In the first article, the soil application of Si doses in the induction of resistance and tolerance of cotton plants to *C. includens* and *H. armigera* was evaluated; the initial stage consisted of a dose-response test of Si on the biological characteristics of pests in the vegetative and reproductive phase of cotton. Fertilization with Si reduced survival and promoted weight reduction of caterpillars. Among the Si doses tested, 4 ton ha⁻¹ was the one that stood out, being selected to continue the second stage of the work that evaluated the effect of Si application on cotton tolerance to *C. includens* herbivory; fertilization with Si increased the height and biomass of leaves, branches and roots, in addition to the leaf Si and chlorophyll content. In the second article, the application of mineral elicitors on the biological performance of *C. includes* and *H. armigera* caterpillars in transgenic Bt and conventional cotton cultivars was evaluated. The transgenic cultivars at the vegetative stage showed moderate resistance to *C. includens*, and fertilization with the products did not affect the biological performance of the caterpillars. In the cotton reproductive phase, the conventional cultivar provided larval survival of 43%, which differed from transgenic materials, which were below 7%. Transgenic cultivars at the vegetative stage expressed moderate resistance to *H. armigera* and fertilization with Cu phosphite provided the highest leaf consumption. Larval survival of *H. armigera* in the reproductive phase of cotton was significantly affected by cultivars; the conventional cultivar differed from the transgenic ones and provided 83% survival, while in the Bt cultivars, they were below 7%. Foliar application of K + Si phosphite reduced foliar consumption and reduced larval weight of *H. armigera* in the conventional cultivar. Significant effects were observed for the application of products based on K + Si phosphite and Cu phosphite on the dry matter of plants, being superior to the control and similar to each other. For root dry mass, the effects were significant for the elicitor and herbivory factors alone. The application of the products doubled the root dry matter, and the herbivory of *C. includens* stimulated an increase in the dry mass of the plant roots. New information can be used in integrated pest management, so that Si can act as an efficient elicitor and improve plant growth.

Keywords: host plant resistance; transgenic plants; induced defense responses; soybean looper; cotton bollworm.

INDICADORES DE IMPACTO

O objetivo geral da tese foi investigar o papel da fertilização com Si (ácido silícico) e fosfito de potássio (K) com adição de Si e fosfito de cobre (Cu) como elicitores de resistência a *Chrysodeixis includens* e *Helicoverpa armigera* e tolerância das plantas de algodão. Essas novas informações podem ser aplicadas em estratégias de manejo integrado de pragas na produção do algodoeiro, de modo que o Si pode atuar como um eficiente elicitador de resistência a lagartas e melhorar o crescimento das plantas. A condução de trabalhos em campo com a aplicação dos fosfitos em algodoeiro e a avaliação da resistência e tolerância às infestações naturais de pragas em cenários de outros estresses bióticos e abióticos darão subsídios sobre o uso desses elicitores em sistemas de produção agrícola sustentáveis, se tornando uma alternativa viável à utilização excessiva de agrotóxicos. Tais impactos dentro da temática de consumo e produção sustentável, como também da fome zero e agricultura sustentável, podem contribuir com estudos futuros da comunidade científica nacional e internacional. Parte deste estudo foi desenvolvido em parceria com uma empresa privada, que, dentro da temática parcerias e meio de implantação, pode levar à ampliação da divulgação dos resultados obtidos à comunidade, bem como projetos futuros subsidiados. O estudo também contou com parcerias de outros programas de pós-graduação, fortalecendo a multidisciplinaridade e a integração de outras áreas de pesquisa, fortalecendo o diálogo participativo. O trabalho está alinhado a 6 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) para que o Brasil cumpra a Agenda 2030.

IMPACT INDICATORS

The general objective of the thesis was to investigate the role of fertilization with Si (silicic acid) and potassium phosphite (K) with the addition of Si and copper phosphite (Cu) as elicitors of resistance to *Chrysodeixis includens* and *Helicoverpa armigera* and plant tolerance of cotton. This new information can be applied to integrated pest management strategies in cotton production, so that Si can act as an efficient elicitor of resistance to caterpillars and to improve plant growth. Conducting field work with the application of phosphites on cotton plants and evaluating resistance and tolerance to natural pest infestations in scenarios of other biotic and abiotic stresses will provide information on the use of these elicitors in sustainable agricultural production systems, becoming a viable alternative to the excessive use of pesticides. Such impacts within the theme of sustainable consumption and production, as well as zero hunger and sustainable agriculture can contribute to future studies by the national and

international scientific community. Part of this study was developed in partnership with a private company, which, within the theme of partnerships and means of implementation, can lead to increased dissemination of the results obtained to the community as well as future subsidized projects. The study also included partnerships with other postgraduate programs, strengthening multidisciplinary and integration of other research areas, strengthening participatory dialogue. The work is aligned with 6 Sustainable Development Goals (SDGs) of the United Nations (UN) so that Brazil can fulfill the 2030 Agenda.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Lagartas desfolhadoras e de estruturas reprodutivas na cultura do algodão: <i>Chrysodeixis includens</i> e <i>Helicoverpa armigera</i>	15
2.2 A cultura do algodão	19
2.3 Cultivares transgênicas Bt	22
2.4 Resistência induzida pela aplicação de elicitores minerais	24
REFERÊNCIAS	32
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS.....	49
ARTIGO 1 - RESISTÊNCIA E TOLERÂNCIA INDUZIDA PELA APLICAÇÃO DE SILÍCIO EM ALGODOEIRO A <i>Chrysodeixis includens</i> (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)	50
1 INTRODUÇÃO	53
2 MATERIAIS E MÉTODOS	55
2.1 Experimento 1: doses de Si na indução de resistência a <i>C. includens</i> nas fases vegetativa e reprodutiva de algodoeiro	55
2.2 Avaliação do crescimento das plantas e concentração foliar de Si em algodoeiro	58
2.3 Quantificação de glândulas de gossipol e concentrações de lignina, compostos fenólicos totais e clorofila	58
2.4 Análise estatística	59
3 RESULTADOS	60
3.1 Experimento 1: doses de Si na indução de resistência a <i>C. includens</i> nas fases vegetativa e reprodutiva de algodoeiro	60
4 DISCUSSÃO.....	65
5 CONCLUSÃO.....	71
REFERÊNCIAS	72
ARTIGO 2 - FERTILIZANTES MINERAIS À BASE DE FOSFITOS NA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA E TOLERÂNCIA DE ALGODOEIRO A <i>Chrysodeixis includens</i> E <i>Helicoverpa armigera</i> (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)	89

1 INTRODUÇÃO	92
2 MATERIAIS E MÉTODOS	95
2.1 Resistência induzida pela aplicação de fertilizantes minerais em algodoeiro transgênico e convencional a <i>C. includens</i> e <i>H. armigera</i>	95
2.2 Tolerância induzida pela aplicação de fertilizantes minerais em algodoeiro transgênico e convencional à herbivoria de <i>C. includens</i>	97
2.3 Análise estatística	98
3 RESULTADOS.....	98
3.1 Resistência induzida pela aplicação de fertilizantes minerais em algodoeiro transgênico e convencional a <i>C. includens</i> e <i>H. armigera</i>	98
3.2 Tolerância induzida pela aplicação de fertilizantes minerais em algodoeiro transgênico e convencional à herbivoria de <i>C. includens</i>	102
4 DISCUSSÃO	105
5 CONCLUSÃO.....	112
CONSIDERAÇÕES FINAIS	130

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é a espécie de fibra produzida mais importante mundialmente, de modo que a fibra representa entre 35 e 42% da matéria-prima, com aproveitamento completo em relação às demais culturas (CORRÊA, 1989). O Brasil é a quinta maior indústria têxtil e a quarta no seguimento de vestuário no mundo, com destaque para os estados de Mato Grosso, Bahia, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul na produção da pluma brasileira (CAVALCANTI; SANTOS, 2022). A intensificação dos sistemas de cultivo contribui significativamente para o ataque de diversas pragas, limitando a sua produção, sobretudo por lagartas desfolhadoras e que atacam estruturas reprodutivas do algodoeiro (BUSOLI et al., 2011; LIMA, 2017).

A lagarta *Helicoverpa armigera* (HÜBNER, 1808) (Lepidoptera: Noctuidae) possui grande relevância em nível mundial e ocupa o 9º lugar entre as 15 pragas mais resistentes a inseticidas (SPARKS et al., 2020). No Brasil, *Chrysodeixis includens* (WALKER, 1858) ocupa lugar de destaque como praga, pois apresenta maior tolerância natural a determinados inseticidas, e possui hábito de se abrigar no terço médio das plantas, dificultando sua exposição à pulverização de inseticidas. As lagartas ocorrem nas principais culturas de interesse agrícola no país, ocasionando danos na fase vegetativa e reprodutiva das plantas. Os métodos de controle mais utilizados consistem na aplicação de inseticidas químicos e uso de cultivares transgênicas. No entanto, as lagartas são de difícil controle pela tolerância a determinados grupos químicos de inseticidas, e resistência a determinadas proteínas (STACKE et al., 2019; QUEIROZ et al., 2020; SPARKS et al., 2020; RESTELATTO et al., 2021; BUSS et al., 2022).

Para a cultura do algodão, níveis de desfolhas acima de 25% ocasionam redução da produtividade, pois reduzem o seu potencial fotossintético, e no estágio fenológico F1 (primeiro botão floral do primeiro ramo) apresenta as maiores perdas na redução foliar e na qualidade da fibra. Essas injúrias refletem no atraso de ciclo e maturação da planta, e na redução da porcentagem de capulhos abertos antes da colheita (MO et al., 2018; KODAMA et al., 2022). A busca pela produção do algodão sustentável é uma demanda crescente, motivada por movimentos sociais e ecológicos globais para produção têxtil sustentável. Uma alternativa de controle ambientalmente sustentável que tem sido utilizada em alguns sistemas agrícolas é a indução de resistência ao ataque de pragas pela aplicação de elicitores como o silício (Si), fosfito de cobre (Cu) e produtos associados como a aplicação de potássio (K) e Si.

A indução de resistência é uma resposta na qual as plantas são estimuladas a sintetizar compostos de defesa, ou mecanismos latentes de proteção, a partir de um estímulo sinalizado por elicitores reconhecidos pelos receptores celulares, de diferentes naturezas (BONALDO; PASCHOLATI; ROMEIRO, 2005). Os receptores de reconhecimento de padrões (pattern recognition receptor, PRR) são capazes de reconhecer moléculas elicitoras derivadas de patógenos, denominadas de padrões moleculares associados a patógenos (pathogen-associated molecular patterns, PAMPs), padrões moleculares associados a injúrias (damage-associated molecular pattern, DAMPs) e padrões moleculares associados ao herbívoro (herbivore-associated molecular pattern, HAMPs). Além disso, os receptores podem reconhecer outras substâncias aplicadas de forma exógena, como a aplicação de fosfitos, os silicatos e fitormônios, (BOLLER; FELIX, 2009; THOMMA; NÜRNBERGER; JOOSTEN, 2011).

Dentre os mecanismos induzidos de defesa, os efeitos de antibiose caracterizam-se pela ativação de defesas que interferem de forma direta no desenvolvimento, sobrevivência e reprodução dos insetos pragas, enquanto a tolerância pode ativar o sistema de compensação ou supercompensação de crescimento das plantas devido à maior eficiência fotossintética e uso das reservas armazenadas (LIMA et al., 2022). A aplicação de elicitores desencadeia respostas de defesa das plantas na forma de dose-resposta, onde baixas doses induzem uma condição de estresse e efeitos estimulatórios e em altas doses produzem efeitos tóxicos (ZUNUN-PÉREZ et al., 2017).

O Si possui efeito antinutricional aos insetos, refletindo negativamente nos parâmetros biológicos e sobrevivência, pois se acumula na parede celular vegetal, aumentando a lignificação das folhas e assim dificultando a digestibilidade dos tecidos e assimilação dos nutrientes. A própria absorção de Si, bem como os micronutrientes podem ativar via de sinalização das plantas, e estimular a produção de compostos secundários ligados à indução de defesas ou ativação do sistema de compensação em função dos estresses bióticos e abióticos. Pesquisas em várias culturas avaliaram o efeito da aplicação desses elicitores a diferentes pragas, confirmando sua eficiência principalmente em gramíneas (GOUSSAIN et al., 2002; DE FREITAS BUENO et al., 2011; DOS SANTOS et al., 2015; NASCIMENTO et al., 2018; DE OLIVEIRA et al., 2020; NAGARATNA et al., 2022).

Os micronutrientes exercem funções importantes no metabolismo vegetal, conferindo alterações na composição química das plantas, anatomia e morfologia dos tecidos vegetais, levando as plantas a expressarem diferentes níveis de resistência (POZZA; POZZA, 2012). Os

micronutrientes também ativam vias metabólicas de defesa das plantas pela produção de espécies reativas de oxigênio (ERO), induzindo a síntese de fitoalexinas e compostos estruturais que conferem rigidez à parede celular, além de ativarem a enzima Rubisco (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; GUPTA et al., 2017). Há evidências de que a aplicação de fosfito em culturas agrícolas pode induzir mecanismos de defesas nas plantas, similares às induzidas a estresses, principalmente resistência a fitopatógenos (COSTA et al., 2018; BEDIN et al., 2020; DA SILVA JUNIOR et al., 2021; VILELA et al., 2022). Alguns estudos comprovam o efeito na indução de resistência de plantas ao aumento de metabólitos secundários que possuem ação deletéria em grupos de insetos distintos, incluindo efeitos negativos no desenvolvimento e mortalidade larval (COLLINS, 1993; PATTERSON; ALYOKHIN, 2014; MULUGETA et al., 2019; ZAYED et al., 2022)

Investigações voltadas à avaliação do uso de elicitores minerais como parte integrante de estratégias de manejo de pragas são imprescindíveis para gerar subsídios em relação à compatibilidade e eficiência no controle de pragas de importantes culturas agrícolas, como o algodoeiro. O conhecimento sobre as respostas induzidas de defesa proporcionadas pelos elicitores minerais pode contribuir com a otimização de estratégias de manejo integrado de pragas com o seu uso associada a outras táticas de controle, como plantas transgênicas resistentes. Portanto, este trabalho avaliou a aplicação de elicitores minerais no desempenho biológico de lagartas de *C. includes* e *H. armigera* em cultivares transgênica Bt e convencional de algodoeiro, e as respostas dessa aplicação na tolerância das plantas à herbivoria. Os resultados encontrados neste estudo são apresentados na segunda parte desta tese na forma de artigos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Lagartas desfolhadoras e de estruturas reprodutivas na cultura do algodão: *Chrysodeixis includens* e *Helicoverpa armigera*

Noctuidae representa a família de lepidópteros com maior número de insetos com importância agrícola (SPECHT; SILVA; LINK, 2004). Essas pragas são favorecidas pelo modelo de produção agrícola no Brasil, que devido às condições climáticas, permitem a realização de duas safras ao ano, realizando sucessão de culturas como milho, soja e algodão. Conseqüentemente, esse sistema de produção favorecem o processo migratório das mariposas, no qual pragas polífagas como *H. armigera* e *C. includens* podem ocasionar perdas significativas na produção (BOREGAS et al., 2013).

A lagarta desfolhadora *C. includens*, conhecida como falsa-medideira, é uma espécie de extensa distribuição geográfica, ocorrendo do norte dos Estados Unidos ao sul da América do Sul (ALFORD; HAMMOND, 1982). A espécie era classificada anteriormente como *Pseudoplusia includens*; no entanto, (GOATER; RONKAY; FIBIGER, 2003) ao reavaliar o gênero, o reclassificaram para o gênero *Chrysodeixis*. No Brasil, a lagarta falsa-medideira deixou de apresentar status de praga secundária e assumiu o de praga principal nas lavouras de soja de diferentes regiões do país, como também em lavouras de algodoeiro, feijoeiro, fumo, girassol, alface, tomate, entre outras (DE FREITAS BUENO et al., 2011; SPECHT; DE PAULA-MORAES; SOSA-GÓMEZ, 2015). De acordo com (BERNARDI et al., 2012a), isso se atribui ao aumento do número de aplicações de inseticidas para o controle da ferrugem-asiática da soja e conseqüentemente diminuição do controle biológico natural. Além disso, características como maior tolerância a inseticidas químicos e plantas *Bt*, e seu hábito de abrigar nas regiões medianas e inferiores do dossel das plantas contribuem para a mudança de status da praga.

As mariposas de *C. includens* medem 35 mm de envergadura, com coloração das asas anterior cinza escuro, possuindo duas manchas prateadas ao centro, e as asas posteriores com coloração marrom, (GALLO et al., 2002). A longevidade média dos adultos varia de 6,5 a 17,9 dias. Cada fêmea oviposita em média 700 ovos, os quais são depositados isoladamente na face inferior das folhas e nos ponteiros do dossel das plantas, possuindo coloração amarela brilhante. Até 90% dos ovos são ovipositados no sétimo dia das fêmeas. O período de incubação dura cerca de três dias a 25°C (FREITAS BUENO et al., 2011).

Nos primeiros ínstaes, as lagartas se alimentam das folhas tenras do terço inferior do algodão apenas raspando a área foliar entre as nervuras, pois apresentam baixo teor de fibras

que facilita digeri-las, o que confere aspecto rendilhado da folha. Posteriormente, as lagartas se tornam menos exigentes e se alimentam de folhas fibrosas, nos terços inferior e médio das plantas. Em altas populações, podem se alimentar do terço superior, causando desfolhamento acentuado e levando a prejuízos na produção (DE FREITAS BUENO et al., 2011).

As lagartas de *C. includens* apresentam coloração verde clara, com listras longitudinais brancas e pontuações pretas. As lagartas podem atingir de 40 a 45 mm de comprimento em seu último estágio larval. A coloração da lagarta pode mudar de tonalidade em função de fatores genéticos e da dieta (SALA; SANTIAGO, 2009; SILVIE et al., 2007). O período de pré-pupa se caracteriza pela mudança de coloração, cessação da alimentação, liberação do *pellet* fecal de cor amarelo brilhante, tecelagem dos fios para construção do casulo e perda de mobilidade para então pupar na parte abaxial das folhas. As pupas têm duração média de sete a nove dias (GALLO et al., 2002; SOSA-GÓMEZ et al., 2010), quando então emergem os adultos.

Agrossistemas com extensas áreas onde as culturas de soja e algodão são cultivados em proximidade podem favorecer os surtos populacionais de *C. includens*. (JENSEN; NEWSOM; GIBBENS, 1974) realizando estudos em Louisiana, EUA, verificaram a ocorrência de aumento na oviposição, longevidade e frequência de cópula quando os adultos da falsa-medideira foram alimentados com néctar das flores de algodoeiro. Essas condições podem ocorrer no Brasil, principalmente na região Centro-Oeste em função da sucessão e sobreposição de culturas hospedeiras da praga como algodão e soja, o que reforça a importância da adoção de um sistema de manejo integrado e de manejo de resistência de pragas (BERNARDI et al., 2012b). Surtos de lagartas falsa-medideiras têm sido identificados com assiduidade no Oeste da Bahia, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul (MOSCARDI et al., 2012).

Helicoverpa armigera Hübner (Lepidoptera: Noctuidae), conhecida com os nomes comuns de lagarta-da maçã-do-algodão, lagarta-do-broto-do tabaco, lagarta-da-espiga-do-milho, broca-do-tomate, lagarta-das-vagens, lagarta-do-velho-mundo, entre outros, é uma das espécies de pragas mais importantes em nível mundial. É uma praga polífaga, sendo as culturas mais afetadas o algodão, tomate, soja, milho, grão-de-bico e leguminosas. Tem como características biológicas alta fecundidade e rápidas taxas reprodutivas, além de habilidades migratórias (RIAZ et al., 2021). As lagartas são vorazes, se alimentam de estruturas vegetativas, no entanto preferem as reprodutivas. Podem ocorrer em mais de 200 espécies de plantas, pertencentes a 67 famílias (MINGOTTI DIAS et al., 2019). Dependendo das condições climáticas, a pupa entra em diapausa. Na safra 2011/2012 foi registrado no Brasil um surto

populacional de *H. armigera* na região oeste da Bahia em lavouras transgênicas e convencionais de milho e soja. E na safra de 2012/2013 após o seu estabelecimento no país, resultou em perdas de 0,8 bilhões de dólares (FREITAS BUENO; SOSA-GÓMEZ, 2014). A *H. armigera* está na 9ª posição das 15 pragas mais resistentes a inseticidas, com número de casos relatados de 48 a 856 no ano de 2019 (SPARKS et al., 2020).

Na América do Sul, houve recente introdução da praga, com registro no ano de 2013, de modo que até então era considerada praga quarentenária A1. No Brasil, lagartas de *H. armigera* foram inicialmente reportadas nos Estados da Bahia (tiguera de soja), Goiás (soja) e Mato Grosso (algodão), e no Sul do país foi relatada em soja e milho (CZEPAK et al., 2013; SPECHT et al., 2013). No Paraguai, foi também reportada no mesmo ano; na Argentina em 2014; em 2015, nos Estados Unidos (SOSA-GÓMEZ et al., 2016); e no Uruguai em 2016 (CASTIGLIONI et al., 2016).

Por ser um inseto polífago, *H. armigera* pode ser praga de mais de uma cultura na mesma região, adotando a estratégia de redução da densidade populacional em diferentes plantas hospedeiras até encontrar alimento suficiente para completar o seu ciclo biológico (MOSCARDI et al., 2012). A dispersão da espécie está relacionada com a mobilidade e capacidade de disseminação dos adultos no período noturno, percorrendo longas distâncias, chegando a mais de 2.000 km (RIAZ et al., 2021). Além disso, atinge altitudes elevadas, resultando em um amplo alcance geográfico (ZALUCKI; FURLONG, 2005).

Os adultos de *H. armigera* são mariposas com 30 a 45 mm de envergadura e 14 a 18 mm de comprimento. Apresentam dimorfismo sexual, sendo a coloração das asas anteriores nos machos cinza-esverdeada e nas fêmeas, pardo-alaranjada ou pardo-avermelhado. Possuem uma faixa marrom ampla contendo na parte central uma marca em forma de vírgula. As asas anteriores são mais claras, com borda marrom escura na parte apical e uma mancha clara no centro das asas (CZEPAK et al., 2013).

As fêmeas têm alto potencial reprodutivo, de modo que uma fêmea pode ovipositar até 3.000 ovos. A longevidade média das fêmeas é de 11,7 dias, e de 9,2 dias para machos. Pode haver de duas a 11 gerações por ano. Os ovos têm formato oval, com comprimento de 0,42 a 0,60 mm e largura de 0,40 a 0,55 mm; apresentam coloração branco-amarelada e são brilhantes; próximos à eclosão, adquirem coloração marrom-escura. As fêmeas colocam os ovos no período noturno, de forma isolada ou em pequenos grupos sobre hastes, flores, frutos e folhas, preferindo a face adaxial das folhas. O período de incubação dos ovos é em média 3,3 dias (ALI et al., 2009).

Nos primeiros ínstaes larvais, a cor do corpo das lagartas varia de branco-amarelada a marrom-avermelhada, e da cápsula cefálica, de marrom-escuro a preto. Nesse período, as lagartas são pouco móveis e medem de 1,4 a 4,0 mm. Conforme vão crescendo, a coloração pode modificar de amarelo-palha a verde, apresentando listras de coloração marrom lateralmente no tórax, abdômen e cabeça. A partir do quarto ínstar, as lagartas apresentam o tegumento com aspecto coriáceo, e na região do primeiro segmento abdominal apresentam tubérculos escuros e bem visíveis, dispostos de forma semelhante a uma sela, característica que define essa fase de desenvolvimento. No último ínstar, as lagartas podem medir até 34 mm, e a cor pode modificar com a alimentação. As lagartas quando perturbadas encurvam a parte anterior do corpo, de modo que a cápsula cefálica chega até o primeiro par de falsas pernas, comportamento característico de defesa (ALI et al., 2009; CZEPAK et al., 2013). A fase larval tem duração média de 2 a 3 semanas, passando por cinco a seis ínstaes (ALI; CHOUDHURY, 2009; (ÁVILA CRÉBIO JOSÉ; VITAL, 2013).

No quinto ou sexto ínstar, a lagarta entra no período de pré-pupa, caracterizado por deslocamento ao solo à procura de ambiente favorável para pupar, cessando a alimentação. No início do processo de muda, a cor antes verde-clara passa para castanha devido à esclerotização do exoesqueleto em 24 h. Neste período é possível fazer a distinção do sexo por meio da observação da genitália externa no fim do abdome. A fase de pupa varia de 10 a 14 dias. O ciclo de vida de *H. armigera* dura em média 30 dias do ovo até o início da fase adulta (ALI et al., 2009).

As lagartas de *H. armigera* ocasionam danos em botões florais, flores e maçãs do algodoeiro, bem como em frutos verdes e maduros do tomateiro, grãos de milho em formação, e em plântulas e estruturas reprodutivas da soja e algodão, onde se alimentam em todos os estádios das plantas, preferindo estruturas reprodutivas. Em todo o mundo, o custo para o controle da praga anualmente chega em torno de US\$ 5 bilhões (ÁVILA CRÉBIO JOSÉ; VITAL, 2013).

Na safra 2011/2012 foi registrado no Brasil um surto populacional de *H. armigera* na região oeste da Bahia em lavouras transgênicas e convencionais de milho e soja. No caso do algodão, foram verificadas perdas de 80% da produção de acordo com produtores. Na safra seguinte, a ocorrência da praga foi registrada em cultivos de soja irrigada, algodão e feijão, o que, de acordo com os produtores, gerou prejuízos de R\$140,00 por hectare (ÁVILA CRÉBIO JOSÉ; VITAL, 2013).

2.2 A cultura do algodão

O algodoeiro é uma planta dicotiledônea pertencente ao gênero *Gossypium*, família Malvaceae. Apresenta distribuição mundial e centro de dispersão nas regiões tropicais. Esta família possui 85 gêneros, e contêm mais de 50 espécies distribuídas nos continentes Asiático, Africano, Americano e Oceania. Sua origem diverge conforme a espécie, de modo que *G. hirsutum* é proveniente das Américas, *G. arboreum*, da Ásia, e *G. herbaceum* da Índia (RUAN, 2005).

A cultura do algodoeiro se originou na Índia, e posteriormente no Paquistão, Tailândia, China, Irã, Síria, Turquia e Grécia. Entre os séculos IX e X, foi disseminada no Mediterrâneo. No continente americano, provavelmente se originou na América Central na região do México e Guatemala; posteriormente foi difundido para a Nicarágua, Colômbia, Brasil e Argentina. A domesticação de *G. hirsutum* L. ocorreu há mais de 4.000 anos no Sul da Arábia, onde foi fabricado o primeiro tecido e papel com essa fibra. No século XVIII, com o surgimento de maquinários para fiação iniciou-se o domínio do mercado mundial de fios e tecidos (CARVALHO, 1996; AMPA-ASSOCIAÇÃO MATO-GROSSENSE DOS PRODUTORES DE ALGODÃO, 2012).

O algodoeiro herbáceo ou anual (*G. hirsutum*) é uma planta perene com crescimento indeterminado, porém, é conduzido como espécie anual. É uma planta de metabolismo C3, possuindo elevada taxa de fotorrespiração e sensibilidade às condições ambientais. Suas estruturas reprodutivas ocorrem em intervalos irregulares, apresentando competição entre os crescimentos vegetativo e reprodutivo. Seus estádios fenológicos são divididos em: vegetativo (V); formação de botões florais (B); abertura de flores ou floração (F); e abertura de capulhos (C) (SILVA et al., 2011).

As folhas do algodoeiro produzem nectários, além de glândulas produtoras de gossipol, um pigmento polifenólico amarelo; é uma substância tóxica a insetos e animais não ruminantes produzidas pelas glândulas encontradas nas raízes, caule, hastes e sementes de algodão. Os números de capulho são variados; em genótipos melhorados, a média é de 10 capulhos por planta, de modo que cada capulho produz em média 32 sementes. Estas são cobertas por células diferenciadas que constituem as fibras longas, que são as fiáveis, e as curtas não fiáveis. O algodoeiro é considerado uma planta de autofecundação; no entanto, a taxa de cruzamento pode atingir 50% ou mais, dependendo principalmente da quantidade de insetos polinizadores presentes na área de cultivo e condições ambientais (PENNA, 2005).

O ciclo do algodoeiro compreende cinco fases: na primeira fase, período entre a semeadura e a emergência, ocorre a embebição e germinação da semente e estabelecimento dos cotilédones, com duração média de 4 a 10 dias, se prolongando em condições desfavoráveis; na segunda fase ocorre o surgimento do primeiro botão floral, que geralmente ocorre aos 30 dias após emergência (DAE); a terceira fase caracteriza-se pelo aparecimento da primeira flor, entre 45 a 60 DAE; na quarta fase há a abertura da primeira maçã, entre 90 e 120 DAE; e a quinta fase é o período de colheita, quando as maçãs estão completamente abertas, o que acontece em média aos 120 DAE, dependendo do genótipo e das condições ambientais (BELTRÃO; SOUZA, 2011). Para o algodão safra, o ciclo atinge de 180 a 220 dias, o qual é cultivado em sistema convencional, com espaçamento de 0,76 a 0,90 m. Para o algodão safrinha, em sistema adensado, é cultivado em espaçamento reduzido de 0,45 m, com ciclo precoce de menos de 150 dias (BELOT et al., 2004).

Dentre as espécies produtoras de fibras, o algodão é a mais importante do mundo social e economicamente. A cadeia produtiva que envolve o produto e seus derivados é uma importante fonte de renda e empregos. Seu uso possui destaque no setor têxtil, utilizando especialmente a fibra. Além disso, as sementes são utilizadas para produção de farelo para alimentação animal, obtenção de óleo para alimentação humana, e outros subprodutos. A fibra representa entre 35 a 42% da matéria-prima, com aproveitamento completo em relação às demais culturas (CORRÊA, 1989).

A espécie *G. hirsutum* corresponde cerca de 90% da produção mundial de fibra de algodão devido ao alto valor econômico. É cultivada em várias regiões do Brasil, e apresenta grande importância social e econômica, pois produz uma das mais importantes fibras têxteis que oferece variados produtos de grande utilidade e relevância na economia, destacando-se entre as 10 maiores fontes de riqueza do agronegócio brasileiro. As sementes de algodão são utilizadas na indústria de alimentação animal (farelo) e humana (óleo), além de grande número de produtos secundários (COSTA et al., 2005).

Índia, Estados Unidos, China, Brasil e Paquistão se destacam na produção mundial de algodão. No Brasil, o estado do Mato Grosso e Bahia se destacam com as maiores áreas plantadas, seguidos por Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul (ABRAPA, 2022).

O Brasil está perto de confirmar uma produção de mais de três milhões de toneladas de algodão beneficiado na safra 2022/2023, expectativas de um aumento de 20% na produtividade. Os estados que se destacaram na produção no ano de 2021 foram: Mato Grosso, Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Maranhão e Minas Gerais. Além do aumento de área plantada de 35,4%

em relação à safra passada, a produção apresentou alta de 32,8%. Além de assumir a 4ª posição entre os maiores produtores mundiais, o Brasil ocupa a 7ª colocação entre os maiores consumidores de pluma (CONAB, 2023).

O estado de Minas Gerais, na década de 1980, se destacava na produção de algodão. Porém, na década de 1990 ocorreu a descapitalização dos produtores, o que refletiu na redução da produtividade, aliada ao uso de materiais não adaptados às condições edafoclimáticas das regiões produtoras. Contudo, o governo estadual e seus órgãos estão incentivando a retomada da produção de algodão nas regiões do Norte do Estado e Triângulo Mineiro por meio de adoção de tecnologias adequadas, com perspectivas de melhores preços (GONÇALVES; BITENCOURT; REZENDE, 2006). Avanços com desenvolvimento de novas cultivares com maior potencial produtivo, resistentes às principais pragas e doenças, com qualidade de fibra superior para atender às exigências do mercado internacional contribuem para o aumento de área e produção atual do Estado. Minas Gerais vem retomando sua posição de destaque nacional na produção de algodão, com o ingresso de municípios do Oeste de Minas, devidos os incentivos fiscais derivados do Proalminas e Amipa que contribuíram para o seu desenvolvimento no Cerrado mineiro (NUNES, 2022).

Em Minas Gerais, a safra de algodão apresentou crescimento de 52,2% e aumento da área plantada de aproximadamente 58% em relação à safra anterior. A produção mineira é exportada para 34 países; Vietnã, China, Bangladesh, Cingapura e Argentina respondem pela compra de 67% do total do algodão exportado pelo Estado. Este crescimento recente deve colocar Minas Gerais em terceiro lugar do ranking dos maiores produtores brasileiros de algodão (CONAB, 2022).

No cerrado brasileiro, a produção algodoeira ocorre em grande escala, com emprego de tecnologia da fronteira do conhecimento, investimento intenso de capital, uso de sementes selecionadas de alta produtividade e adaptadas às condições de cada região. Assim, a produção da cultura em pequenas propriedades se tornou desfavorável sob aspectos econômicos e edafoclimáticos, tornando-se exclusivo de regiões marginais, intensificando a diferença tecnológica entre pequenos e grandes produtores (BUAINAIN; BATALHA, 2007). Em função dos avanços tecnológicos, a cotonicultura no país ocupa lugar de destaque em nível mundial. No entanto, essa expansão e intensificação dos sistemas de cultivo contribuíram para aumentar os problemas fitossanitários, sendo a incidência de pragas uma das maiores limitações do cultivo de algodão (LIMA, 2017). Dentre as principais pragas da parte aérea do algodoeiro, as principais são as lagartas desfolhadoras e aquelas que atacam estruturas reprodutivas, causando

danos diretos e indiretos como desfolha e danos em botões e maçãs, levando à redução de produtividade do algodão (BUSOLI et al., 2011).

No Brasil, a expansão das lavouras em sucessão de culturas que servem como plantas hospedeiras em comum aos mesmos insetos, aliada ao uso intensivo de inseticidas, falta de manejo adequado das pragas e o aumento dos casos de resistência dos insetos elevam o potencial de dano que podem ocasionar. Pragas como *H. armigera*, de introdução recente no país e de difícil controle, e *C. includens*, que geralmente é remanescente do cultivo antecedente de soja, possuem alto potencial de danos à cultura algodoeira por se alimentarem de estruturas vegetativas e reprodutivas, reduzindo a produtividade e qualidade de fibra.

2.3 Cultivares transgênicas Bt

Plantas geneticamente modificadas que expressam genes *Bt* são aquelas que contêm os genes da bactéria entomopatogênica *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), que produz proteínas com ação inseticida a insetos-alvo. *B. thuringiensis* é uma bactéria gram-positiva, encontrada naturalmente nos solos e outros ambientes. Durante seu processo de esporulação, produz inclusões cristalinas que são denominadas de pró-toxinas (δ -endotoxina), que ocasionam lesões no aparelho digestivo dos insetos imaturos ao serem ingeridos (BRAVO et al., 2011).

As proteínas *Bt* são classificadas em função dos genes que a codificam, e são divididas em grupos do gene *cyt*, que produz citolisinas e genes *cry*, com a produção de endotoxinas. Genes do grupo *cry* são os mais utilizados para obtenção de plantas transgênicas inseticidas, sendo classificados pela sequência primária de aminoácidos. São descritos mais de 500 genes *Cry* e as suas sequências estão classificadas em 74 grupos (*Cry1* à *Cry74*) organizados em diferentes subgrupos. As proteínas do tipo *Cry1* estão divididas em quatorze classes de *Cry1A* até *Cry1N*. E estas proteínas *Cry1A* apresentam subclasses *Cry1Aa* à *Cry1Aj*. As proteínas *Cry2A* possuem subclasses de *Cry2Aa* a *Cry2A1* (CRICKMORE et al., 2021). Dentre elas, proteínas das famílias *Cry1*, *Cry2*, *Cry9*, *Cry15*, *Cry20*, *Cry51*, *Cry54*, *Cry59* são referidas como proteínas para controle de lepidópteros. Nesse mesmo banco são listadas todas as proteínas relacionadas à família *Vip3* de *Bt*, toxina que também apresenta espectro de ação específico para lepidópteros praga, (CRICKMORE et al., 2021).

A subespécie ou estirpe mais utilizada para plantas transgênicas se restringe a Lepidoptera (*B. thuringiensis* subsp. *kurstaki*, *aizawai*), Coleoptera (*B. thuringiensis tenebrionis*) ou Diptera (*B. thuringiensis israelensis*) (BRAVO; GILL; SOBERÓN, 2007; BRAVO et al., 2011b). Algumas cepas de *Bt* produzem outras toxinas inseticidas adicionais, denominadas *Vip*. As toxinas *Vip*, diferentemente das *Cry*, são produzidas durante o período

vegetativo. Existem quatro famílias de proteínas Vip, as proteínas binárias Vip1 e Vip2, proteínas Vip3 e proteínas Vip4. A mais estudada é a proteína Vip3 pelo amplo espectro de ação contra lepidópteros, (CRICKMORE et al., 2021).

Apenas em 1987 é que se obtiveram as primeiras plantas *Bt*, em função da inserção de genes *cry* nas culturas de tomate e fumo. Desde então, vários genes *cry* foram introduzidos em diversas plantas de importância agrícola, como algodão, arroz, milho, batata, canola e soja (BOBROWSKI et al., 2003). A introdução do algodão transgênico no mercado mundial ocorreu a partir de 1996 para o controle de insetos pragas na Austrália, China e Estados Unidos (TIAN et al., 2018). No Brasil, a liberação para cultivo do algodão transgênico foi a partir de 2005, de modo que a primeira geração lançada foi o algodoeiro Bollgard I[®], que produz a proteína inseticida Cry1Ac para o controle do curuquerê (*Alabama argillacea*), lagarta-das-maçãs (*Heliothis virescens*) e lagarta-rosada (*Pectinophora gossypiella*) (CTNBIO, 2019).

As áreas cultivadas com plantas transgênicas no mundo totalizaram 191,7 milhões de hectares em 2018, com um aumento de 1% em relação a 2017. No Brasil, ocorreu um aumento de 2% das áreas plantadas, com 51,3 milhões de hectares cultivados. A taxa de adoção de culturas transgênicas é de 93%, incluindo as culturas de soja, milho, algodão e cana-de-açúcar (ISAAA, 2018).

O plantio sucessivo e em longo prazo de uma cultivar de algodão com gene *Bt* traz o risco de promover resistência de insetos-alvo às proteínas transgênicas. A ocorrência de casos de populações de insetos resistentes contribuiu para o desenvolvimento da segunda geração de plantas *Bt*, denominados de eventos piramidados. Esses eventos transgênicos consistem em plantas que expressam duas ou mais proteínas com ação inseticida de forma independente, a fim de aumentar a eficiência da tecnologia na mortalidade das pragas-alvo (SRIKANTH; MAXTON; MASIH, 2019). Entre os eventos piramidados, em 2009 ocorreu a liberação comercial do algodoeiro com a tecnologia Bollgard II[®] (Cry1Ac e Cry2Ab2); em 2001, foi lançada a tecnologia WideStrike[®] (Cry1Ac e Cry1F); e em 2011, ocorreu a liberação da tecnologia TwinLink[®] (Cry1Ab e Cry2Ae) (CTNBio, 2017). A terceira geração de algodoeiro *Bt* é recente, onde o Comitê Técnico Nacional de Biossegurança (CTNBio) autorizou o cultivo e a comercialização do algodão WideStrike 3[®], que possui Cry1Ac e Cry1F mais uma proteína inseticida vegetativa (Vip3A) no Brasil a partir da safra 2019/2020 (XIAO; WU, 2019).

Apesar das inúmeras vantagens que o uso de plantas *Bt* acarreta no setor agrícola, um dos entraves do seu uso é a evolução da resistência nas populações de insetos pragas em função da seleção exercida pela contínua exposição às proteínas inseticidas, o que pode mudar a

conformação dos receptores do intestino e sua capacidade de ligação (XIAO; WU, 2019). Por exemplo, (VIANA et al., 2014) avaliando os efeitos de cultivares transgênicas de algodoeiro verificaram que a cultivar de algodoeiro que expressa a proteína Cry1Ac proporcionou baixo efeito nos parâmetros biológicos de *C. includens*, pois 62% das lagartas sobreviveram e se transformaram em pupas normais, fator esse que aumenta os riscos de seleção de populações resistentes às proteínas inseticidas presentes nas cultivares.

O processo de evolução da resistência, no entanto, não pode ser confundido com a falta de eficiência de proteínas transgênicas devido à menor sensibilidade natural de uma determinada espécie de inseto àquelas proteínas. Como exemplo deste caso, (BERNARDI et al., 2012b) relataram que as lagartas *S. cosmioides*, *S. eridania* e *S. frugiperda* são tolerantes à proteína Cry1Ac e conseguem sobreviver mesmo submetidas a elevados níveis de concentração das mesmas. Além disso, a suscetibilidade às tecnologias *Bt* pode diferir nas diferentes espécies de lepidópteros-praga.

Outro ponto importante de ser avaliado em pesquisas com plantas transgênicas é sua eficiência de controle em diferentes tecidos da planta, fases fenológicas e estruturas, uma vez que há relatos de a concentração das proteínas diferirem em função da variação desses fatores. No Paquistão, (AHMAD et al., 2019) constataram que para *H. armigera* em algodão que produz a proteína Cry1Ac, a maior expressão média da proteína na planta foi identificada 60 dias após a semeadura em folhas superiores, que diminuíram nas partes inferiores como as folhas de dossel. Também verificaram forte correlação positiva entre os níveis de proteína Cry1Ac e a mortalidade dos insetos, o que coloca em risco o cultivo de algodão Bt que expressa uma única proteína no Paquistão.

A partir das informações mencionadas, pesquisas voltadas ao uso das tecnologias transgênicas com características de resistência a insetos são imprescindíveis para gerar informações sobre a adaptabilidade das cultivares de algodoeiro às mais diversas condições de campo, principalmente nas novas regiões produtoras. Além disso, há a necessidade de se monitorar o desempenho das tecnologias transgênicas no controle de lagartas-alvo, contribuindo para subsidiar o uso regionalizado de estratégias eficientes de Manejo Integrado de Pragas (MIP) e de Manejo de Resistência de Insetos (MRI), no caso de pragas-alvo que não são mais controladas por essas tecnologias.

2.4 Resistência induzida pela aplicação de elicitores minerais

A resistência de plantas é definida como a soma relativa de características hereditárias inerentes às plantas, que podem influenciar o grau do dano ocasionado por um inseto

(PAINTER, 1951). Portanto, plantas resistentes são aquelas que, em função da sua constituição genotípica, em igualdade de condições é menos danificada em relação as que são suscetíveis (ROSSETTO, 1973). A resistência é relativa, o que implica na comparação de duas ou mais plantas, e pode ser específica a determinada espécie. Além disso, as plantas apresentam plasticidade fenotípica, isto é, o fenótipo das mesmas pode ser alterado em relação à interação do genótipo x ambiente, de modo que para confirmar a ocorrência de resistência deve haver repetibilidade nas respostas das características avaliadas (LARA, 1991; BALDIN; BENTIVENHA, 2019).

Os mecanismos de defesa das plantas a insetos podem ser expressos como antixenose, antibiose e tolerância. No caso da antixenose, o inseto evita a planta para alimentação, abrigo e oviposição, comumente ocasionado por características físicas ou por compostos voláteis liberados. Os insetos possuem diversificação na preferência de plantas, pois utilizam estímulos fornecidos por elas, os quais são responsáveis por desencadear respostas em favor ou contrária à planta hospedeira. Características de antibiose afetam negativamente a biologia dos insetos devido à presença de compostos químicos das plantas. Os efeitos negativos nos insetos ocorrem devido à presença de toxinas como a presença de inibidores de crescimento ou reprodução, nutrição inapropriada que levam à mortalidade nas fases de desenvolvimento do inseto, além da redução do tamanho e peso dos indivíduos e da fecundidade, alteração da proporção sexual e da longevidade, entre outros parâmetros biológicos (BALDIN.; BENTIVENHA, 2019). A tolerância ocorre quando um genótipo é menos danificado que os demais em condições iguais de infestação sem que haja efeito no comportamento ou na biologia dos insetos. O genótipo tolerante pode apresentar a capacidade de suportar e regenerar as áreas injuriadas pelo inseto e apresentar produção semelhante à de plantas não injuriadas em condições similares (BALDIN; BENTIVENHA, 2019; ULHOA et al., 2020).

Ao longo do tempo evolutivo, as plantas adquiriram diversas estratégias de defesa a estresses abióticos e bióticos. Estresses bióticos são provocados especialmente por insetos-praga, ácaros e patógenos (bactérias, vírus, fungos, nematoides). Estresses abióticos são aqueles ocasionados por alterações de temperatura, falta de luminosidade, deficiência hídrica e nutricional, que podem reduzir a produtividade de diferentes culturas de interesse econômico (REYNOLDS et al., 2016). Esses mecanismos de defesa das plantas podem ser classificados como resistência constitutiva, quando os mecanismos de defesa estão presentes nas plantas continuamente sem que haja necessidade de eles serem desencadeados por algum fator externo, ou resistência induzida, quando as plantas ativam características de defesa após serem

submetidas a estresses (DE FREITAS et al., 2017). Estas estratégias de defesa podem se manifestar nas características físicas, morfológicas e bioquímicas, e podem agir de forma isolada ou conjunta, permitindo evitar ou tolerar herbívoros e patógenos de forma direta ou indireta (BOIÇA JÚNIOR et al., 2019).

Entre as características morfológicas, as plantas utilizam espinhos, pilosidade, tricomas ou aumentam a deposição de substâncias como cutinas, ceras, e sílica nas folhas, formando uma barreira mecânica de proteção. São características que atingem diretamente o inseto-praga, interferindo negativamente no seu comportamento e desenvolvimento, proporcionando maior exposição a inimigos naturais (BALDIN; BENTIVENHA, 2019). As plantas produzem compostos químicos voláteis e não voláteis, tanto nos locais da injúria ou de maneira sistêmica, que podem repelir ou afetar o desenvolvimento dos insetos pela toxicidade ou redução da digestibilidade dos tecidos vegetais, desempenhando assim um papel na indução de resistência (ULHOA et al., 2020).

A indução de resistência é uma resposta na qual as plantas são estimuladas a sintetizar compostos de defesa, ou mecanismos latentes de proteção, a partir de um estímulo sinalizado por elicitores reconhecidos pelos receptores celulares, de diferentes naturezas (BONALDO; PASCHOLATI; ROMEIRO, 2005). Os receptores de reconhecimento de padrões (pattern recognition receptor, PRR) são capazes de reconhecer moléculas elicitoras derivadas de patógenos, denominadas de padrões moleculares associados a patógenos (pathogen-associated molecular patterns, PAMPs), padrões moleculares associados a injúrias (damage-associated molecular pattern, DAMPs) e padrões moleculares associados ao herbívoro (herbivore-associated molecular pattern, HAMPs). Além disso, os receptores podem reconhecer outras substâncias aplicadas de forma exógena, como a aplicação de fosfitos, os silicatos e fitormônios, (BOLLER; FELIX, 2009; THOMMA; NÜRNBERGER; JOOSTEN, 2011).

Os elicitores produzem reações de defesa natural das plantas via produção de metabólitos secundários que apresentam funções ecológicas de atração para insetos polinizadores e inimigos naturais. Além disso, são responsáveis por ativar diferentes vias metabólicas que ocorrem isoladas ou concomitantemente, como a via do ácido jasmônico, ácido salicílico, etileno, vias dos compostos fenólicos, terpenos e compostos nitrogenados, que impactam o desempenho dos insetos, acarretando repelência, deterrência alimentar ou efeitos antibióticos, provocados por déficit nutricional ou toxicidade (WANG et al., 2015). Também podem ocasionar mudanças anatômicas nos seus tecidos, como produção de células epidérmicas mais espessas em função da deposição de sílica, formando uma barreira

morfológica capaz de dificultar o ataque de insetos sugadores e mastigadores (EPSTEIN, 1999). Os elicitores desencadeiam respostas de defesa das plantas na forma de dose-resposta; baixas doses podem induzir uma condição de estresse e efeitos estimulatórios e em altas doses produzem um efeito tóxico. Esse comportamento se assemelha ao efeito hormético que ocorre com fatores químicos e físicos em vários organismos (ZUNUN-PÉREZ et al., 2017b).

Compostos presentes em extratos de plantas, fungos e rizobactérias promotoras de crescimento são muito explorados como elicitores bióticos. Em contrapartida, alguns elicitores comerciais também são utilizados para a indução de resistência de plantas a estresses bióticos como insetos e patógenos, como por exemplo, o acibenzolar-S-metil (ASM), probenazole, produtos à base de silício e fosfitos, entre outros (NOJOSA, G. B. R. A.; RESENDE et al., 2009; THAKUR; SOHAL, 2013; NASCIMENTO et al., 2018; BEDIN et al., 2020; ABREU et al., 2021; DA SILVA JUNIOR et al., 2021; SOUSA et al., 2022).

O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre e na solução do solo, depois apenas do oxigênio. É encontrado na natureza na forma de silicatos e principalmente sílica. Embora seu conteúdo no solo seja abundante, a fonte natural desse elemento no solo é o feldspato, que ao sofrer o processo de intemperização libera o ácido silícico (H_4SiO_4) e boa parte na forma não dissociada, tornando-o pouco disponível às plantas (RAVEN, 1983). O silício é um elemento considerado não essencial às plantas, e assim, não classificado como nutriente; porém, pode induzir efeitos benéficos contra estresses abióticos e bióticos em alguns grupos de plantas, pois a magnitude do acúmulo de silício difere entre espécies e cultivares (REYNOLDS; KEEPING; MEYER, 2009).

Ao ser absorvido pelas plantas como ácido monossilícico (H_4SiO_4), o silício é facilmente transcolado no xilema e tem tendência natural a se polimerizar como sílica amorfa (SiO_2): 99% se acumulam na forma de ácido silícico polimerizado e o restante (1%) encontra-se na forma coloidal ou iônica. Concentra-se nos tecidos de suporte; no caule, aumenta a resistência do mesmo e previne o acamamento, e nas folhas leva à formação de uma dupla camada de sílica logo abaixo da epiderme, se acumulando principalmente junto à cutícula, agindo como barreira mecânica contra a invasão de fungos e ataque de insetos. Além disso, pode ser acumulado nos grãos (KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA; CAMARGO, 2004; KORNDÖRFER, 2007).

Nas folhas, assim como nas raízes, o silício modifica a distribuição do manganês, reduzindo a sua toxidez e a transpiração das plantas, aliviando estresses hídricos e salinos. Também diminui os efeitos causados pelo excesso de nitrogênio e aumenta a resistência das

plantas a estresses bióticos (MA; YAMAJI, 2006). Por fim, o silício também atua como ativador das defesas das plantas via produção de compostos fenólicos, entre outras substâncias químicas; está associado à produção de substâncias de defesa, como enzimas oxidativas, fitoalexinas, lignina e suberina, compostos fortemente relacionados à resistência das plantas contra infecção por patógenos e ataque de herbívoros(LIANG et al., 2005).

Nos sistemas agrícolas, o silício é aplicado como indutor de resistência de plantas. As principais culturas que respondem à aplicação de silício incluem algumas monocotiledôneas, tais como arroz, milho e trigo, que absorvem ativamente e acumulam grandes quantidades de silício. Outras plantas dicotiledôneas também podem acumular diferentes níveis de sílica, como algodão, soja, algumas cucurbitáceas e tomate (REYNOLDS et al., 2016). Os teores de silício nas gramíneas chegam a ser 10-20 vezes maiores do que nas dicotiledôneas, pois as gramíneas absorverem o silício da solução do solo de forma passiva, acompanhando o fluxo de água que penetra pelas raízes, e as dicotiledôneas apresentam mecanismos que evitam a absorção de quantidades elevadas desse elemento (RAIJ, 1991).

Nas plantas o teor de silício em média é de 0,1 a 10% na matéria seca e podem ser classificadas em relação ao acúmulo, e a análise molar é feita pela relação Si:Ca. Assim, plantas acumuladoras de silício apresentam relações acima de 1,0; entre essas plantas se encontram as monocotiledôneas das famílias Poaceae, Ciperaceae e Equisetaceae; plantas intermediárias, com relação de 0,5 a 1; se plantas de Brassicaceae, Urticaceae e Commelinaceae, por exemplo, demonstram acúmulo de Si intermediário; e por fim, as plantas não acumuladoras apresentam valores menores que 0,5; caracterizam-se por um baixo teor acumulado mesmo com altos níveis de Si no meio, indicando a presença de mecanismos de exclusão (HODSON et al., 2005).

O uso do silício na agricultura pode proporcionar resistência induzida às plantas a diversos estresses, sendo as respostas de defesa das plantas potencializadas quando estão submetidas a fatores de estresse. Este processo é desencadeado quando um sinal externo (elicitador) se liga a um receptor específico (receptor de reconhecimento de padrões) na superfície da membrana da célula vegetal. Assim, através deles o sinal é transmitido para o interior da célula, ativando a produção de substâncias provenientes do metabolismo secundário e promovendo maior proteção (KARBAN; MYERS, 1989).

Entre alguns exemplos de efeitos induzidos nas plantas pela aplicação de silício a lagartas desfolhadoras, (GOUSSAIN et al., 2002) observaram canibalismo e mortalidade de lagartas *S. frugiperda* ao término do segundo ínstar quando foram alimentadas com folhas de milho tratadas com silicato de sódio via solo. Neste estudo também se verificou desgaste

acentuado na região incisora das mandíbulas das lagartas decorrente da deposição de silício na parede celular das folhas, formando uma barreira mecânica. (NERI; MORAES; GAVINO, 2005) verificaram que *S. frugiperda* alimentada com plantas de milho tratadas com silício e o inseticida regulador de crescimento lufenuron apresentou reduções na preferência de alimentação e sobrevivência. (FREITAS; JUNQUEIRA; FILHO, 2012) analisando o efeito de doses (3, 6, 9 e 12 kg ha⁻¹) de silício na preferência alimentar de *Plutella xylostella* em repolho observaram maior mortalidade de lagartas com a maior dose; assim, a aplicação foliar interferiu na preferência alimentar, levando ao desgaste da mandíbula e mortalidade pela não alimentação. (SILVA et al., 2014a) verificaram que a aplicação de ácido silícico a 1% na dose equivalente a 3 t ha⁻¹ causou aumento na mortalidade de lagartas de *S. frugiperda* alimentadas com folhas da cv. BRS Cedro, porém, não houve efeito quando aplicado na cv. BRS Verde. Além disso, na cultivar BRS Cedro, houve menor peso de pupas e menor produção de ovos/fêmea em relação a outra cultivar de algodoeiro. A partir desses resultados nota-se que os efeitos induzidos por silício podem ser dependentes do genótipo da planta.

Em relação a outros efeitos promovidos pela aplicação de silício, Ferraz et al. (2014) avaliando doses (0, 50, 100, 150, 200 mg L⁻¹) de silício em algodoeiro em diferentes cultivares constataram que a aplicação foliar aumentou a taxa de fotossíntese da cultivar de algodão herbáceo BRS Topázio. Além disso, proporcionou aumento na condutância estomática e eficiência no uso da água, refletindo no aumento da produção. (FICHHOF et al., 2018) avaliando o efeito do silício e de bioestimulante em duas cultivares de algodão em campo observaram que o manejo com Si e bioestimulantes aumentaram a integridade da parede celular, e que essa associação promoveu o aumento de níveis de N, Fe e Si na folha e reduziram os níveis de B e Mn; porém não influenciou no rendimento e na qualidade da fibra.

Os fosfitos (H₂PO₃⁻) são produtos à base de fósforo, compostos comumente usados na nutrição de plantas. Porém, é uma forma de fosfato reduzido que reage com uma base, e dependendo do sal que acompanha essa base ocorre a formação e a denominação desse fosfito (fosfito de potássio, manganês, cobre, entre outros.). São utilizados para aumentar a produtividade dos cultivos agrícolas, e são registrados no Ministério da agricultura como fertilizantes foliares, com formulações que podem conter micro e macronutrientes (NOJOSA; RESENDE; RESENDE, 2005). No entanto, a nutrição é realizada exclusivamente pelo nutriente que acompanha o íon fosfito, pois a planta não assimila essa fonte de fósforo, e ainda não há evidências que validem a sua ação (RATJEN; GERENDÁS, 2009; ARAUJO et al., 2022).

O fósforo não advém naturalmente como elemento livre porque é muito reativo, e ajusta-se com rapidez com outros elementos, como oxigênio ou hidrogênio. Um ciclo global de P ocorre pela oxidação e redução de compostos de P por reações de transferência de elétrons. No fosfato, o P central está ligado completamente a quatro oxigênios, enquanto no fosfito o P está ligado a três oxigênios e um hidrogênio; o átomo de hidrogênio não se liga às enzimas. Essa substituição afeta proeminentemente o comportamento desse composto, de modo que o P é responsável pela bioenergética celular e regulação metabólica e importante componente estrutural de macromoléculas, como ácidos nucleicos e fosfolipídios (MCDONALD; GRANT; PLAXTON, 2001).

O fosfato é absorvível porque sua molécula reage com a enzima fosfatase, pois ela reconhece três dos quatro átomos de oxigênio (processo de oxidação) e se liga a eles, e o oxigênio que restou fica disponível para interagir com demais catalizadores. As fontes de fosfito aplicadas no solo podem sofrer oxidação via ação de microrganismos e disponibilizar o fosfato. No entanto, na aplicação foliar essa conversão não ocorre, e as plantas não conseguem oxidar a molécula. Portanto, se torna irreconhecível às plantas, que não o utilizam em seu metabolismo (ARAÚJO; VALDEBENITO-SANHUEZA; STADNIK, 2010; HIROSSE et al., 2012; ARAUJO et al., 2022).

Além disso, os fosfitos podem ser translocados na planta via xilema e floema. A aplicação de fosfitos está associada com a melhoria da qualidade nutricional, devido a sua rápida absorção pelas raízes e folhas, favorecendo a absorção de nutrientes, e melhorias no amadurecimento, qualidade dos frutos e qualidade pós-colheita (MOOR et al., 2009). O fosfito possui atividade fungicida, atuando diretamente sobre o fungo, pois bloqueia a síntese de ATP, e indiretamente estimula as defesas da planta hospedeira que atuam na inibição do crescimento do patógeno, levando à ruptura das hifas (DALIO et al., 2012; ARAUJO et al., 2022).

Há evidências de que a aplicação de fosfito em culturas agrícolas pode induzir mecanismos de defesas nas plantas, similares às induzidas a estresses, principalmente resistência a fitopatógenos (COSTA et al., 2018; BEDIN et al., 2020; DA SILVA JUNIOR et al., 2021; VILELA et al., 2022). Existem escassas informações sobre a ação inseticida dos fosfitos; no entanto, alguns estudos comprovam o efeito na indução de resistência de plantas ao aumento de metabólitos secundários que possuem ação deletéria em grupos de insetos distintos, incluindo efeitos negativos no desenvolvimento e mortalidade larval (COLLINS, 1993; PATTERSON; ALYOKHIN, 2014; MULUGETA et al., 2019; ZAYED et al., 2022). Portanto, pesquisas devem ser desenvolvidas para elucidar os efeitos de fosfitos na indução de resistência

e tolerância das plantas ao ataque de insetos para subsidiar seu uso como estratégia complementar no manejo integrado de pragas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, R. A. A.; ASSIS, F. A.; SOUZA, B. H. S.; NASCIMENTO, A. M.; LATINI, A. O.; PIO, L. A. S. Effects of silicon application on the biochemistry of passion fruit and performance of *Dione juno juno* (Lepidoptera: Nymphalidae). **Arthropod-Plant Interactions**, v. 15, n. 3, p. 417–429, 7 jun. 2021. doi: 10.1007/s11829-021-09827-3.
- ACEVEDO, F. E.; PEIFFER, M.; RAY, S.; TAN, C.-W.; FELTON, G. W. Silicon-Mediated Enhancement of Herbivore Resistance in Agricultural Crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 11 fev. 2021. doi: 10.3389/fpls.2021.631824.
- ACHALEKE, J.; BRÉVAULT, T. Inheritance and stability of pyrethroid resistance in the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Central Africa. **Pest Management Science**, p. n/a-n/a, 2009. doi: 10.1002/ps.1843.
- AHMAD, S.; CHEEMA, H. M. N.; KHAN, A. A.; KHAN, R. S. A.; AHMAD, J. N. Resistance status of *Helicoverpa armigera* against Bt cotton in Pakistan. **Transgenic Research**, v. 28, n. 2, p. 199–212, 21 abr. 2019. doi: 10.1007/s11248-019-00114-9.
- ALCANTRA, E.; CAMPOS MORAES, J.; AUAD, A. M.; SILVA, A. A.; ALVARENGA, R. Resistência induzida ao pulgão-do-algodoeiro em cultivares de algodão colorido Induced resistance to aphid cotton on colored cotton cultivars. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 483–491, 2019. doi: 10.19084/rca.17183.
- ALFORD, R. A.; HAMMOND, A. M. Plusiinae (Lepidoptera: Noctuidae) Populations in Louisiana Soybean Ecosystems as Determined with Looplure-Baited Traps. **Journal of Economic Entomology**, v. 75, n. 4, p. 647–650, 1 ago. 1982. doi: 10.1093/jee/75.4.647.
- ALHOUSARI, F.; GREGER, M. Silicon and Mechanisms of Plant Resistance to Insect Pests. **Plants**, v. 7, n. 2, p. 33, 13 abr. 2018. doi: 10.3390/plants7020033.
- ALI, A.; CHOUDHURY; AFROZA; RUMMANA; AHMAD; ZUBAIR; RAHMAN; KHAN, F.; RAHMAN, F.; AHMAD, S. K. Some Biological Characteristics of *Helicoverpa armigera* on Chickpea. **Tunisian Journal of Plant Protection**, v. 99, n. 1, 2009.
- ALVARES, C. A. ; S. J. L. ; S. P. C. ; G. J. L. M. ; S. G. Köppen's climate classification map for Brazil. Em: **Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart**. 6. ed. [s.l: s.n.]22 p. 711–728. 2013.
- AMPA-ASSOCIAÇÃO MATO-GROSSENSE DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. HISTÓRIA DO; ALGODÃO. **História do Algodão**.
- ANDAMA, J. B.; MUJIONO, K.; HOJO, Y.; SHINYA, T.; GALIS, I. Nonglandular silicified trichomes are essential for rice defense against chewing herbivores. **Plant, Cell & Environment**, v. 43, n. 9, p. 2019–2032, 6 set. 2020. doi: 10.1111/pce.13775.
- ANDRADE, K.; BUENO, A. de F.; DA SILVA, D. M.; STECCA, C. dos S.; PASINI, A.; DE OLIVEIRA, M. C. N. Bioecological characteristics of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different hosts. **Austral Entomology**, v. 55, n. 4, p. 449–454, nov. 2016. doi: 10.1111/aen.12208.

ARAÚJO, L.; PINTO, F. A. M. F.; LACONSKI, J. M. O.; NOGUEIRA, P. H. da S.; DOS SANTOS PADILHA, G.; EBERHARDT, P. E. R. Formulações de fosfitos para o controle de cancro europeu da macieira. **Agropecuária Catarinense**, v. 35, n. 2, p. 37–43, 31 ago. 2022. doi: 10.52945/rac.v35i2.1457.

ARAÚJO, L.; VALDEBENITO-SANHUEZA, R. M.; STADNIK, M. J. Avaliação de formulações de fosfito de potássio sobre *Colletotrichum gloeosporioides* in vitro e no controle pós-infeccional da mancha foliar de Glomerella em macieira. **Trans/Form/Ação**, v. 35, n. 1, fev. 2010. doi: 10.1590/S1982-56762010000100010.

ÁVILA CRÉBIO JOSÉ; VITAL, T. G. Ocorrência, aspectos biológicos, danos e estratégias de manejo de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) nos sistemas de produção agrícolas. **Circular técnico Embrapa**, n. ISSN 1517-4557, p. 1–12, 2013.

BAKHAT, H. F.; BIBI, N.; ZIA, Z.; ABBAS, S.; HAMMAD, H. M.; FAHAD, S.; ASHRAF, M. R.; SHAH, G. M.; RABBANI, F.; SAEED, S. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. **Crop Protection**, v. 104, p. 21–34, fev. 2018. doi: 10.1016/j.cropro.2017.10.008.

BALDIN, E. L. L.; BENTIVENHA, J. P. F. Fatores que afetam a expressão da resistência. Em: BALDIN, E. L. L.; VENDRAMIM, J. D.; LOURENÇÃO, A. L. (Ed.). **Resistência de plantas 589 a insetos- Fundamentos e Aplicações**. [s.l: s.n.] p. 323–356. 2019.

BALDIN, E. L. L.; LOURENÇÃO, A. L.; SCHLICK-SOUZA, E. C. Outbreaks of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) in common bean and castor bean in São Paulo State, Brazil. **Bragantia**, v. 73, n. 4, p. 458–465, 28 out. 2014. doi: 10.1590/1678-4499.0277.

BEDIN, E.; CAVERZAN, A.; SILVEIRA, D. C.; CHAVARRIA, G. Foliar fortification of Copper (Cu) in Glycine max L. for the protection against Asian Soybean Rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P.Syd.). **Plant Science Today**, v. 7, n. 4, 1 out. 2020. doi: 10.14719/pst.2020.7.4.737.

BELTRÃO, N. E. M. ;; SOUZA, J. G. de. Fisiologia e ecofisiologia do algodoeiro. Em: **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Algodão: tecnologia de produção**. [s.l: s.n.] p. 54–75. 2011.

BERNARDI, O.; MALVESTITI, G. S.; DOURADO, P. M.; OLIVEIRA, W. S.; MARTINELLI, S.; BERGER, G. U.; HEAD, G. P.; OMOTO, C. Assessment of the high-dose concept and level of control provided by MON 87701 × MON 89788 soybean against *Anticarsia gemmatilis* and *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Pest Management Science**, v. 68, n. 7, p. 1083–1091, jul. 2012a. doi: 10.1002/ps.3271.

BERNARDI, O.; MALVESTITI, G. S.; DOURADO, P. M.; OLIVEIRA, W. S.; MARTINELLI, S.; BERGER, G. U.; HEAD, G. P.; OMOTO, C. Assessment of the high-dose concept and level of control provided by MON 87701 × MON 89788 soybean against *Anticarsia gemmatilis* and *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Pest Management Science**, v. 68, n. 7, p. 1083–1091, jul. 2012b. doi: 10.1002/ps.3271.

BLENAU, W.; RADEMACHER, E.; BAUMANN, A. Plant essential oils and formamidines as insecticides/acaricides: what are the molecular targets? **Apidologie**, v. 43, n. 3, p. 334–347, 17 maio 2012. doi: 10.1007/s13592-011-0108-7.

BOBROWSKI, V. L.; FIUZA, L. M.; PASQUAL, G.; ZANETTINI, M. H. B. Genes de *Bacillus thuringiensis*: uma estratégia para conferir resistência a insetos em plantas. **Ciência Rural**, v. 34, n. ISSN 0103-8478, p. 843–850, 2003.

BOIÇA JÚNIOR, A.; FREITAS, M.; FREITAS, C.; DI BELLO, M.; ULHOA LA, P.; PASCUTTI, T.; SOUZA, Bhs. Respostas induzidas de defesa das plantas e implicações no manejo integrado de pragas. Em: RC, : : CASTILHO; BARILLI DR, T. C. (Ed.). **Tópicos em Entomologia Agrícola - x**. Gráfica Mu ed. [s.l: s.n.] p. 97–122. 2019.

BOLLER, T.; FELIX, G. A Renaissance of Elicitors: Perception of Microbe-Associated Molecular Patterns and Danger Signals by Pattern-Recognition Receptors. **Annual Review of Plant Biology**, v. 60, n. 1, p. 379–406, 1 jun. 2009. doi: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105346.

BONALDO, S. M.; PASCHOLATI, S. F.; ROMEIRO, R. S. Indução de resistência: noções básicas e perspectivas. Em: **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**, (2005).

BOREGAS, K. G. B.; MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; WILSON, G.; FERNANDES. Estádio de adaptação de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em hospedeiros alternativos. **Bragantia**, v. 72, p. 61–70, 2013.

BOYLSTON, E. K.; HEBERT, J. J.; HENSARLING, T. P.; BRADOW, J. M.; THIBODEAUX, D. P. Role of silicon in developing cotton fibers. **Journal of Plant Nutrition**, v. 13, n. 1, p. 131–148, jan. 1990a. doi: 10.1080/01904169009364063.

BOYLSTON, E. K.; HEBERT, J. J.; HENSARLING, T. P.; BRADOW, J. M.; THIBODEAUX, D. P. Role of silicon in developing cotton fibers. **Journal of Plant Nutrition**, v. 13, n. 1, p. 131–148, 1 jan. 1990b. doi: 10.1080/01904169009364063.

BRAVO, A.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. **Toxicon**, v. 49, n. 4, p. 423–435, mar. 2007. doi: 10.1016/j.toxicon.2006.11.022.

BRAVO, A.; LIKITVIVATANAVONG, S.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 41, n. 7, p. 423–431, jul. 2011a. doi: 10.1016/j.ibmb.2011.02.006.

BRAVO, A.; LIKITVIVATANAVONG, S.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 41, n. 7, p. 423–431, jul. 2011b. doi: 10.1016/j.ibmb.2011.02.006.

BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. Cadeia Produtiva do Algodão. **Serie Agronegócios**, v. 4, p. 237–256, 2007.

BUSOLI, A. C.; GROGOLLI, J. F. J.; FRAGA, D. F.; SOUZA, L. A.; FUNICHELLO, M.; NAIS, J.; SILVA, E. A. Atualidades no MIP algodão no cerrado brasileiro. Em: **In: Tópicos em Entomologia Agrícola IV**. [s.l: s.n.] p. 117–138. 2011.

BUSS, N.; RESTELATTO, S. S.; CONTINI, R. E.; BUENO, A. de F.; BERNARDI, O.; BOFF, M. I. C.; FRANCO, C. R. Comparative susceptibility of *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Erebididae) and *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) to insecticides. **Ciência Rural**, v. 52, n. 8, 2022. doi: 10.1590/0103-8478cr20210047.

BUSTOS-SEGURA, C.; GONZÁLEZ-SALAS, R.; BENREY, B. Early damage enhances compensatory responses to herbivory in wild lima bean. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 29 nov. 2022. doi: 10.3389/fpls.2022.1037047.

CALABRESE, E. J. Hormesis: A Conversation with a Critic. **Environmental Health Perspectives**, v. 117, n. 9, p. 1339–1343, set. 2009. doi: 10.1289/ehp.0901002.

CALABRESE, E. J.; BALDWIN, L. A. Hormesis: The Dose-Response Revolution. **Annual Review of Pharmacology and Toxicology**, v. 43, n. 1, p. 175–197, abr. 2003. doi: 10.1146/annurev.pharmtox.43.100901.140223.

CAMARGO, L. C. M. DE; GARCIA, D. D. B.; SAAB, O. J. G. A.; PASINI, A.; SARTI, D. A.; DIAS, C. T. D. S. INSECTICIDE APPLICATION SPEED IN THE CONTROL OF LEPIDOPTERAN PESTS IN SOYBEAN1. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 72–80, mar. 2020. doi: 10.1590/1983-21252020v33n108rc.

CARVALHO. **Manual do algodoeiro**. AMPA-ASSOCIAÇÃO MATO-GROSSENSE DOS 250 PRODUTORES DE ALGODÃO, 2012

CASTIGLIONI, E.; PERINI CLÉRISON, R.; CHIARAVALLE, W.; ARNEMANN JONAS, A.; UGALDE, G.; GUEDES JERSON, V. Primer registro de ocorrência de *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera: Noctuidae) en soja, en Uruguay. **Agrociencia Uruguay**, v. 20, n. 1, p. 31–35, 2016. doi: 10.2477/vol20iss1pp31-35.

CAVALCANTI, A. M.; DOS SANTOS, G. F. A indústria têxtil no BRASIL: uma análise da importância da competitividade frente ao contexto mundial. **Exacta**, v. 20, n. 3, p. 706–726, 30 jun. 2022. doi: 10.5585/exactaep.2021.17784.

CHEN, Y. H.; GOLS, R.; BENREY, B. Crop Domestication and Its Impact on Naturally Selected Trophic Interactions. **Annual Review of Entomology**, v. 60, n. 1, p. 35–58, 7 jan. 2015. doi: 10.1146/annurev-ento-010814-020601.

CONAB. Perspectiva para a agropecuária 2018/2019. p. 1–140, 2018.

CORRÊA, J. R. V. **Algodoeiro: informações básicas para seu cultivo**. [s.l: s.n.]

COSTA, B. H. G.; DE RESENDE, M. L. V.; MONTEIRO, A. C. A.; RIBEIRO JÚNIOR, P. M.; BOTELHO, D. M. dos S.; SILVA, B. M. da. Potassium phosphites in the protection of common bean plants against anthracnose and biochemical defence responses. **Journal of Phytopathology**, v. 166, n. 2, p. 95–102, fev. 2018. doi: 10.1111/jph.12665.

COSTA, J. N.; C., A. F. A.; SANTANA, J. C. F.; COSTA, I. L. L.; WANDERELY, M. J. R.; SANTANA, J. C. S. Técnicas de colheita, processamento e armazenamento do algodão. p. 14, 2005.

CRICKMORE, N.; BERRY, C.; PANNEERSELVAM, S.; MISHRA, R.; CONNOR, T. R.; BONNING, B. C. A structure-based nomenclature for *Bacillus thuringiensis* and other bacteria-derived pesticidal proteins. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 186, p. 107438, nov. 2021. doi: 10.1016/j.jip.2020.107438.

CRUZ, M. F. A. da; RODRIGUES, F. Á.; POLANCO, L. R.; CURVÊLO, C. R. da S.; NASCIMENTO, K. J. T.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Inducers of resistance and silicon on the activity of defense enzymes in the soybean-*Phakopsora pachyrhizi* interaction. **Bragantia**, v. 72, n. 2, p. 162–172, 29 jul. 2013. doi: 10.1590/S0006-87052013005000025.

CTNBIO. **Plantas Geneticamente Modificadas aprovadas para Comercialização**, 2019.

CUONG, T. X.; ULLAH, H.; DATTA, A.; HANH, T. C. Effects of Silicon-Based Fertilizer on Growth, Yield and Nutrient Uptake of Rice in Tropical Zone of Vietnam. **Rice Science**, v. 24, n. 5, p. 283–290, set. 2017. doi: 10.1016/j.rsci.2017.06.002.

CZEPAK, C.; ALBERNAZ, K. C.; VIVAN, L. M.; GUIMARÃES, H. O.; CARVALHAIS, T. Primeiro registro de ocorrência de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 1, p. 110–113, 2013. doi: 10.1590/S1983-40632013000100015.

DA SILVA JUNIOR, M. B.; DE RESENDE, M. L. V.; POZZA, E. A.; RESENDE, A. R.; VASCONCELOS, V. A. M.; MONTEIRO, A. C. A.; SILVEIRA, G. C. D.; DOS SANTOS BOTELHO, D. M. Phosphites for the management of anthracnose in soybean pods. **Journal of Plant Pathology**, v. 103, n. 2, p. 611–617, 1 maio 2021. doi: 10.1007/s42161-021-00747-y

DALIO, R. J. D. ; RIBEIRO JUNIOR, P. M.; RESENDE, M. L. V.; SILVA, A. C. ; BLUMER; S.; PEREIRA, V. F. ;; OSWALD, W.; PASCHOLATI, S. F. P. . . O triplo modo de ação dos fosfitos em plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 20, p. 206–243, 2012.

DE FREITAS BUENO, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R. The Old World Bollworm in the Neotropical Region: The Experience of Brazilian Growers with & It;I>*Helicoverpa Armigera* </I>. **Outlooks on Pest Management**, v. 25, n. 4, p. 261–264, 1 ago. 2014. doi: 10.1564/v25_aug_04.

DE FREITAS BUENO, R. C. O.; DE FREITAS BUENO, A.; MOSCARDI, F.; POSTALI PARRA, J. R.; HOFFMANN-CAMPO, C. B. Lepidopteran larva consumption of soybean foliage: basis for developing multiple-species economic thresholds for pest management decisions. **Pest Management Science**, v. 67, n. 2, p. 170–174, fev. 2011. doi: 10.1002/ps.2047.

DE FREITAS, M. M.; DE SOUZA, B. H. S.; NOGUEIRA, L.; DI BELLO, M. M.; BOIÇA JÚNIOR, A. L. Soybean defense induction to *Spodoptera cosmioides* herbivory is dependent on plant genotype and leaf position. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 12, n. 1, p. 85–96, 4 fev. 2017. doi: 10.1007/s11829-017-9556-y.

DE OLIVEIRA, R. S.; PEÑAFLORES, M. F. G. V.; GONÇALVES, F. G.; SAMPAIO, M. V.; KORNDÖRFER, A. P.; SILVA, W. D.; BENTO, J. M. S. Silicon-induced changes in plant volatiles reduce attractiveness of wheat to the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* and attract the parasitoid *Lysiphlebus testaceipes*. **PLOS ONE**, v. 15, n. 4, p. e0231005, 3 abr. 2020. doi: 10.1371/journal.pone.0231005.

DE SOUZA JÚNIOR, J. P.; DE MELLO PRADO, R.; FERREIRA DINIZ, J.; DE FARIAS GUEDES, V. H.; DA SILVA, J. L. F.; ROQUE, C. G.; DE CÁSSIA FELIX ALVAREZ, R. Foliar Application of Innovative Sources of Silicon in Soybean, Cotton, and Maize. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, n. 3, p. 3200–3211, 1 set. 2022. doi: 10.1007/s42729-022-00878-w.

DE SOUZA JUNIOR, J. P.; DE MELLO PRADO, R.; SOARES, M. B.; DA SILVA, J. L. F.; DE FARIAS GUEDES, V. H.; DOS SANTOS SARAH, M. M.; CAZETTA, J. O. Effect of Different Foliar Silicon Sources on Cotton Plants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 1, p. 95–103, 2 mar. 2021. doi: 10.1007/s42729-020-00345-4.

DE SOUZA JUNIOR, P.; DE MELLO PRADO, J.; MACHADO DOS SANTOS SARAH, R. M.; FELISBERTO, G. Silicon mitigates boron deficiency and toxicity in cotton cultivated in nutrient solution. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 182, n. 5, p. 805–814, 9 out. 2019. doi: 10.1002/jpln.201800398.

DIXON, R. A.; HARRISON, M. J.; LAMB, C. J. EARLY EVENTS IN THE ACTIVATION OF PLANT DEFENSE RESPONSES. **Annual Review of Phytopathology**, v. 32, n. 1, p. 479–501, set. 1994. doi: 10.1146/annurev.py.32.090194.002403.

DJIHINTO, A. C.; KATARY, A.; PRUDENT, P.; VASSAL, J.-M.; VAISSAYRE, M. Variation in Resistance to Pyrethroids in *Helicoverpa armigera* From Benin Republic, West Africa. **Journal of Economic Entomology**, v. 102, n. 5, p. 1928–1934, 1 out. 2009. doi: 10.1603/029.102.0525.

DOS SANTOS, M. . C.; JUNQUEIRA, A. R.; SÁ, V. M. de; ZANÚNCIO; SERRÃO, J. No Title. **ISJ-Invertebrate Survival Journal**, v. 12 n° 1, n. ISSN 1824-307X, p. 158–165, 2015. DOSTER, M. A. Quantification of Lignin Formation in Almond Bark in Response to Wounding and Infection by *Phytophthora* Species. **Phytopathology**, v. 78, n. 4, p. 473, 1988. doi: 10.1094/Phyto-78-473.

EPSTEIN, E. SILICON. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, n. 1, p. 641–664, jun. 1999. doi: 10.1146/annurev.arplant.50.1.641.

ETIENNE, P.; TROUVERIE, J.; HADDAD, C.; ARKOUN, M.; YVIN, J.-C.; CAÏUS, J.; BRUNAUD, V.; LAÏNÉ, P. Root Silicon Treatment Modulates the Shoot Transcriptome in *Brassica napus* L. and in Particular Upregulates Genes Related to Ribosomes and Photosynthesis. **Silicon**, v. 13, n. 11, p. 4047–4055, 19 nov. 2021. doi: 10.1007/s12633-020-00710-z.

FICHHOF, W. H.; SILVA, R. de A.; OLIVEIRA, L. S. de; SILVA, R. M. da. Management of Biostimulant and Silicon in Mineral Nutrition and Quality of Cotton Fiber. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 10, p. 476, 15 set. 2018. doi: 10.5539/jas.v10n10p476.

FRANKFATER, C. R.; DOWD, M. K.; TRIPLETT, B. A. Effect of elicitors on the production of gossypol and methylated gossypol in cotton hairy roots. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 98, n. 3, p. 341–349, 2009a. doi: 10.1007/s11240-009-9568-0.

FRANKFATER, C. R.; DOWD, M. K.; TRIPLETT, B. A. Effect of elicitors on the production of gossypol and methylated gossypol in cotton hairy roots. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 98, n. 3, p. 341–349, 28 set. 2009b. doi: 10.1007/s11240-009-9568-0.

FREITAS, L. M. DE; JUNQUEIRA, A. M. R.; FILHO, M. M. Potencial de uso do silício no manejo integrado da traça- das- crucífera , *Plutella xylostella* , em plantas de repolho. v. 25, p. 8–13, 2012.

FUNICHELLO, M.; FRAGA, D. F.; PRADO, E. P.; AGUIRRE-GIL, O. J.; BUSOLI, A. C. Vertical distribution of *Crysoideixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) in transgenic and conventional cotton cultivars. **Revista de Ciencias Agroveterinarias**, v. 18, n. 1, p. 150–153, 2019. doi: 10.5965/223811711812019150.

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

GOATER, B.; RONKAY, L.; FIBIGER, M. Catocalinae & Plusiinae, Noctuidae Europeae. **Entomological Press**, v. 10, p. 452, 2003.

GÓMEZ-MERINO, F. C.; TREJO-TÉLLEZ, L. I. Biostimulant activity of phosphite in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 82–90, nov. 2015. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.035.

GONÇALVES, R. D. S.; BITENCOURT, M. B.; REZENDE, L. B. Análise de competitividade da cotonocultura na região do triangulo mineiro /MG – aplicação da matriz de análise de política. Em: Sistemas Agroalimentares e Cadeias Agroindustriais, DORES DO

INDAIA - MG - BRASIL. **Anais...** DORES DO INDAIA - MG - BRASIL: 2006.

GORDY, J. W.; LEONARD, B. R.; BLOUIN, D.; DAVIS, J. A.; STOUT, M. J. Comparative Effectiveness of Potential Elicitors of Plant Resistance against *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in Four Crop Plants. **PLOS ONE**, v. 10, n. 9, p. e0136689, 2 set. 2015. doi: 10.1371/journal.pone.0136689.

GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSIB, M. L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 2, p. 305–310, 2002. doi: 10.1590/s1519-566x2002000200019.

GREENE, G. L.; LEPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean Caterpillar: A Rearing Procedure and Artificial Medium¹²³. **Journal of Economic Entomology**, v. 69, n. 4, p. 487–488, 1 ago. 1976. doi: 10.1093/jee/69.4.487.

GUEDES, R. N. C.; CUTLER, G. C. Insecticide-induced hormesis and arthropod pest management. **Pest Management Science**, v. 70, n. 5, p. 690–697, maio 2014. doi: 10.1002/ps.3669.

GUEDES, R. N. C.; RIX, R. R.; CUTLER, G. C. Pesticide-induced hormesis in arthropods: Towards biological systems. **Current Opinion in Toxicology**, v. 29, p. 43–50, mar. 2022. doi: 10.1016/j.cotox.2022.02.001.

GUPTA, N.; DEBNATH, S.; SHARMA, S.; SHARMA, P.; PUROHIT, J. Role of Nutrients in Controlling the Plant Diseases in Sustainable Agriculture. Em: **Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture**. Singapore: Springer Singapore, 2017. p. 217–262. 2017.

HALL, C. R.; DAGG, V.; WATERMAN, J. M.; JOHNSON, S. N. Silicon Alters Leaf Surface Morphology and Suppresses Insect Herbivory in a Model Grass Species. **Plants**, v. 9, n. 5, p. 643, 19 maio 2020. doi: 10.3390/plants9050643.

HETTWER, B. L.; GODOY, D. N.; HANICH, M. R.; CAYE, M.; MOREIRA, R. P.; LUCHESE, E. F.; ZANELLA, R.; BERNARDI, O.; MELO, A. A. Influence of adjuvants added to teflubenzuron spray on resistant and susceptible strains of the soybean looper *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae). **Ciência Rural**, v. 53, n. 2, 2023. doi: 10.1590/0103-8478cr20210710.

HIROSSE, E. H.; CRESTE, J. E.; CUSTÓDIO, C. C.; MACHADO-NETO, N. B. In vitro growth of sweet potato fed with potassium phosphite. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, n. 1, 29 nov. 2012. doi: 10.4025/actasciagron.v34i1.10810.

HODSON, M. J.; WHITE, P. J.; MEAD, A.; BROADLEY, M. R. Phylogenetic Variation in the Silicon Composition of Plants. **Annals of Botany**, v. 96, n. 6, p. 1027–1046, 1 nov. 2005a. doi: 10.1093/aob/mci255.

HODSON, M. J.; WHITE, P. J.; MEAD, A.; BROADLEY, M. R. Phylogenetic Variation in the Silicon Composition of Plants. **Annals of Botany**, v. 96, n. 6, p. 1027–1046, 1 nov. 2005b. doi: 10.1093/aob/mci255.

HORIKOSHI, R. J.; DOURADO, P. M.; BERGER, G. U.; DE S. FERNANDES, D.; OMOTO, C.; WILLSE, A.; MARTINELLI, S.; HEAD, G. P.; CORRÊA, A. S. Large-scale assessment of lepidopteran soybean pests and efficacy of Cry1Ac soybean in Brazil. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 15956, 5 ago. 2021. doi: 10.1038/s41598-021-95483-9.

HUSSAIN, S.; SHUXIAN, L.; MUMTAZ, M.; SHAFIQ, I.; IQBAL, N.; BRESTIC, M.; SHOAI, M.; SISI, Q.; LI, W.; MEI, X.; BING, C.; ZIVCAK, M.; RASTOGI, A.; SKALICKY, M.; HEJNAK, V.; WEIGUO, L.; WENYU, Y. Foliar application of silicon improves stem strength under low light stress by regulating lignin biosynthesis genes in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Journal of Hazardous Materials**, v. 401, 5 jan. 2021. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123256.

INOCÊNCIO, M. F.; RESENDE, Á. V. de; NETO, A. E. F.; VELOSO, M. P.; FERRAZ, F. M.; HICKMANN, C. Resposta da soja à adubação com zinco em solo com teores acima do nível crítico. **Pesq. agropec. bras**, v. 47, p. 1550–1554, 2012.

ISLAM, T.; MOORE, B. D.; JOHNSON, S. N. Silicon fertilisation affects morphological and immune defences of an insect pest and enhances plant compensatory growth. **Journal of Pest Science**, 13 jan. 2022. doi: 10.1007/s10340-022-01478-4.

JENSEN, R. L.; NEWSOM, L. D.; GIBBENS, J. The Soybean Looper: Effects of Adult Nutrition on Oviposition, Mating Frequency, and Longevity. **Journal of Economic Entomology**, v. 67, n. 4, p. 467–470, 1 ago. 1974. doi: 10.1093/jee/67.4.467.

JOHNSON, S. N.; REYNOLDS, O. L.; GURR, G. M.; ESVELD, J. L.; MOORE, B. D.; TORY, G. J.; GHERLEND, A. N. When resistance is futile, tolerate instead: silicon promotes plant compensatory growth when attacked by above- and belowground herbivores. **Biology Letters**, v. 15, n. 7, p. 20190361, 31 jul. 2019. doi: 10.1098/rsbl.2019.0361.

KARBAN, R.; MYERS, J. H. Induced Plant Responses to Herbivory. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 20, n. 1, p. 331–348, nov. 1989. doi: 10.1146/annurev.es.20.110189.001555.

KLOTZBÜCHER, T.; KLOTZBÜCHER, A.; KAISER, K.; VETTERLEIN, D.; JAHN, R.; MIKUTTA, R. Variable silicon accumulation in plants affects terrestrial carbon cycling by controlling lignin synthesis. **Global Change Biology**, v. 24, n. 1, p. e183–e189, jan. 2018. doi: 10.1111/gcb.13845.

KODAMA, C.; DEGRANDE, P. E.; DE SOUZA, E. P.; MELO, E. P. Impacto da Desfolha Artificial no Desenvolvimento, Produtividade e Qualidade de Fibra do Algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) Convencional e Adensado. **Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 25, n. 5- esp, p. 714–723, 14 mar. 2022. doi: 10.17921/1415-6938.2021v25n5-esp714-723.

KORNDÖRFER, G. H. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. 2004.

KORNDÖRFER, G. H. ; D. Uso de Silício na Agricultura. **Informações Agronômicas**, p. 9–11, 2007.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. ; CAMARGO, M. S. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. **GPSi-ICIAG-UFU**. 3. ed, p. 23, 2004.

KORTBEEK, R. W. J.; VAN DER GRAGT, M.; BLEEKER, P. M. Endogenous plant metabolites against insects. **European Journal of Plant Pathology**, v. 154, n. 1, p. 67–90, 14 maio 2019. doi: 10.1007/s10658-018-1540-6.

KOSTIC, L.; NIKOLIC, N.; BOSNIC, D.; SAMARDZIC, J.; NIKOLIC, M. Silicon increases phosphorus (P) uptake by wheat under low P acid soil conditions. **Plant and Soil**, v. 419, n. 1–2, p. 447–455, 1 out. 2017. doi: 10.1007/s11104-017-3364-0.

LAANE, H.-M. The Effects of Foliar Sprays with Different Silicon Compounds. **Plants**, v. 7, n. 2, p. 45, 7 jun. 2018. doi: 10.3390/plants7020045.

LARA, F. M. **Princípios de Resistência de plantas a insetos**. Ícone Edit ed. 1978.

LIANG, Y.; RICHARD, M. N.; GONG, H.; SONG, A. **Silicon in Agriculture**, 1961.

- LIMA, A. F.; BERNAL, J.; VENÂNCIO, M. G. S.; DE SOUZA, B. H. S.; CARVALHO, G. A. Comparative Tolerance Levels of Maize Landraces and a Hybrid to Natural Infestation of Fall Armyworm. **Insects**, v. 13, n. 7, p. 651, 19 jul. 2022. doi: 10.3390/insects13070651.
- LIMA, T. H. **Genética populacional de *Gossypium hirsutum* raça marie galante no Brasil segundo condições de estresse hídrico e fertilidade do solo**. 2017. Instituto Federal Goiano Campus Urutaí, 2017.
- LIU, J.; ZHU, J.; ZHANG, P.; HAN, L.; REYNOLDS, O. L.; ZENG, R.; WU, J.; SHAO, Y.; YOU, M.; GURR, G. M. Silicon Supplementation Alters the Composition of Herbivore Induced Plant Volatiles and Enhances Attraction of Parasitoids to Infested Rice Plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 19 jul. 2017. doi: 10.3389/fpls.2017.01265.
- LOO, E. P.-I.; TAJIMA, Y.; YAMADA, K.; KIDO, S.; HIRASE, T.; ARIGA, H.; FUJIWARA, T.; TANAKA, K.; TAJI, T.; SOMSSICH, I. E.; PARKER, J. E.; SAIJO, Y. Recognition of Microbe- and Damage-Associated Molecular Patterns by Leucine-Rich Repeat Pattern Recognition Receptor Kinases Confers Salt Tolerance in Plants. **Molecular Plant-Microbe Interactions®**, v. 35, n. 7, p. 554–566, jul. 2022. doi: 10.1094/MPMI-07-21-0185-FI.
- MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 8, p. 392–397, ago. 2006. doi: 10.1016/j.tplants.2006.06.007.
- MACEDO, L. P. M.; CUNHA, U. S. DA; VENDRAMIM, J. D. GOSSIPOL: FATOR DE RESISTÊNCIA A INSETOS-PRAGA. **campo digital**, v. 2, n. 34–42, 2007.
- MACIAS-BOBADILLA, I.; VARGAS-HERNANDEZ, M.; GUEVARA-GONZALEZ, R. G.; RICO-GARCIA, E.; OCAMPO-VELAZQUEZ, R. V.; AVILA-JUAREZ, L.; TORRES-PACHECO, I. Hormetic and xenohormetic potential in the phytobiome of the center of origin. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 67, n. 5, p. 1331–1344, 3 jun. 2020. doi: 10.1007/s10722-020-00912-9.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. 1997.
- MALINGA, L. N.; LAING, M. D. Efficacy of Biopesticides in the Management of the Cotton Bollworm, *Helicoverpa armigera* (Noctuidae), under Field Conditions. **Insects**, v. 13, n. 8, p. 673, 27 jul. 2022. doi: 10.3390/insects13080673.
- MAO, Y.; LU, S.; WANG, L.; CHEN, X. Biosynthesis of gossypol in cotton. **CABI Reviews**, v. 2006, jan. 2006. doi: 10.1079/PAVSNNR20061049.
- MARSCHNER H. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. Elsevier, 2012.
- MCDONALD, A. E.; GRANT, B. R.; PLAXTON, W. C. PHOSPHITE (PHOSPHOROUS ACID): ITS RELEVANCE IN THE ENVIRONMENT AND AGRICULTURE AND INFLUENCE ON PLANT PHOSPHATE STARVATION RESPONSE. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 10, p. 1505–1519, 31 out. 2001. doi: 10.1081/PLN-100106017.
- MINGOTTI DIAS, P.; DE SOUZA LOUREIRO, E.; AMORIM PESSOA, L. G.; MENDES DE OLIVEIRA NETO, F.; DE SOUZA TOSTA, R. A.; TEODORO, P. E. Interactions

between Fungal-Infected *Helicoverpa armigera* and the Predator *Chrysoperla externa*. **Insects**, v. 10, n. 10, p. 309, 20 set. 2019. doi: 10.3390/insects10100309.

MIR, R. A.; BHAT, B. A.; YOUSUF, H.; ISLAM, S. T.; RAZA, A.; RIZVI, M. A.; CHARAGH, S.; ALBAQAMI, M.; SOFI, P. A.; ZARGAR, S. M. Multidimensional Role of Silicon to Activate Resilient Plant Growth and to Mitigate Abiotic Stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 23 mar. 2022. doi: 10.3389/fpls.2022.819658.

MO, J.; MCDUGALL, S.; BEAUMONT, S.; MUNRO, S.; STEVENS, M. M. Effects of simulated seedling defoliation on growth and yield of cotton in southern New South Wales. **Crop and Pasture Science**, v. 69, n. 9, p. 915, 2018. doi: 10.1071/CP18093.

MOOR, U.; PÖLDMA, P.; TÕNUTARE, T.; KARP, K.; STARAST, M.; VOOL, E. Effect of phosphite fertilization on growth, yield and fruit composition of strawberries. **Scientia Horticulturae**, v. 119, n. 3, p. 264–269, fev. 2009. doi: 10.1016/j.scienta.2008.08.005.

MOSCARDI, F. ; BUENO, A. F. ; SOSA-GÓMEZ, D. R.; ROGGIA, S. ; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; POMARI, A. F. ; CORSO, I. C. ; YANO, S. A. C. Soja – Manejo Integrado de Pragas e outros Artrópodes-praga. Em: **In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊAFERREIRA, B. S.; MOSRCADI, F.** [s.l: s.n.] p. 213–309. 2012.

MULUGETA, T.; MULATU, B.; TEKIE, H.; YESUF, M.; ANDREASSON, E.; ALEXANDERSSON, E. Phosphite alters the behavioral response of potato tuber moth (*Phthorimaea operculella*) to field-grown potato. **Pest Management Science**, v. 75, n. 3, p. 616–621, mar. 2019. doi: 10.1002/ps.5152.

NAGARATNA, W.; KALLESHWARASWAMY, C. M.; DHANANJAYA, B. C.; SHARANABASAPPA; PRAKASH, N. B. Effect of Silicon and Plant Growth Regulators on the Biology and Fitness of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*, a Recently Invaded Pest of Maize in India. **Silicon**, v. 14, n. 3, p. 783–793, 3 fev. 2022. doi: 10.1007/s12633-020-00901-8.

NASCIMENTO, A. M.; ASSIS, F. A.; MORAES, J. C.; SOUZA, B. H. S. Silicon application promotes rice growth and negatively affects development of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). **Journal of Applied Entomology**, v. 142, n. 1–2, p. 241–249, fev. 2018. doi: 10.1111/jen.12461.

NERI, D. K. P.; MORAES, J. C.; GAVINO, M. A. Interação silício com inseticida regulador de crescimento no manejo de lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) EM MILHO1. **Ciênc. agrotec**, v. 29, p. 1167–1174, 2005. NOGUEIRA, A. M.; JESUS, K. A. de; JUNIOR, J. C. L.; BEZERRA, C. E. S. No Title. **CONNECTION LINE**, v. 19, n. ISSN 1980-7341, p. 52–62, 2018.

NOJOSA, G. B. DE A.; RESENDE, M. L. V.; RESENDE, Á. V. Uso de fosfitos na indução de resistência. Em: CAVALCANTI, L. S. ; DI PIERO, R. M. ; CIA, P. ; PASCHOLATI, S. F. ; RESENDE, M. L. V. ;; ROMEIRO, R. S. (Ed.). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos.** [s.l: s.n.] p. 139–153. 2005.

NOJOSA, G. B. R. A.; RESENDE, M. L. V. ; BARGUIL, B. M. ; MORAES, S. R. G. ; VILAS; BOAS, C. H. Efeito de indutores de resistência em cafeeiro contra a mancha de *Phoma*. **Summa Phytopathologica**, v. 35, p. 60–62, 2009.

- NUNES, M. A. Plumas do Cerrado: a reconfiguração espacial da produção algodoeira (cotonicultura) no Brasil e em Minas Gerais no início do século XXI. **Revista Espinhaço**, v. 11, n. 2317–0611, 2022.
- PAINTER, R. H. **Insect resistance in crop plants**, 1951.
- PATTERSON, M.; ALYOKHIN, A. Survival and development of Colorado potato beetles on potatoes treated with phosphite. **Crop Protection**, v. 61, p. 38–42, jul. 2014. doi: 10.1016/j.cropro.2014.03.014.
- PENNA, J. C. V. In: BORÉM, A. Melhoria de espécies cultivadas. Em: **Melhoramento do algodão**. 2. ed. [s.l.: s.n.] p. 15–53. 2005.
- PERDOMO, D. N.; RODRIGUES, A. A. R.; SAMPAIO, M. V.; CELOTTO, F. J.; MENDES, S. M.; PEREIRA, H. S.; LIMA, D. T. de; REZENDE, G. F. Increase in foliar silicon content reduces defoliation by *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize. **Bragantia**, v. 81, 2022. doi: 10.1590/1678-4499.20210147.
- PERINI, C. R.; SOSA, V. I.; KODA, V. E.; SILVA, H.; RISSO, A. A.; VASCONCELOS, W. N. F.; GONÇALVES, C. F.; UGALDE, G. A.; MACHADO, D. N.; BEVILACQUA, C. B.; ARDISSON-ARAÚJO, D. M. P.; MAEBE, K.; SMAGGHE, G.; VALMORBIDA, I.; GUEDES, J. C. Genetic structure of two Plusiinae species suggests recent expansion of *Chrysodeixis includens* in the American continent. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 23, n. 3, p. 250–260, 7 ago. 2021. doi: 10.1111/afe.12427.
- POZZA, E. A. ; POZZA, A. A. A. Grupo de Estudos Avançados em Fitopatologia. Nutrição no manejo de doenças de plantas. Em: **Nutrição mineral no manejo de doenças de plantas**. [s.l.: s.n.]2012.
- QUEIROZ, L. F. de; CORASSA, J. D. N.; RODRIGUES, S. M. M.; PITTA, R. M. Susceptibility of soybean looper to lufenuron and spinosad. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 87, 2020. doi: 10.1590/1808-1657000062019.
- RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Em: **Agrônoma Ceres**. [s.l.: s.n.] p. 343. 1991.
- RATJEN, A. M.; GERENDÁS, J. A critical assessment of the suitability of phosphite as a source of phosphorus. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, n. 6, p. 821–828, 25 dez. 2009. doi: 10.1002/jpln.200800287.
- RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews**, v. 58, n. 2, p. 179–207, maio 1983. doi: 10.1111/j.1469-185X.1983.tb00385.x.
- REICHEL, T.; DE RESENDE, M. L. V.; MONTEIRO, A. C. A.; FREITAS, N. C.; DOS SANTOS BOTELHO, D. M. Constitutive Defense Strategy of Coffee Under Field Conditions: A Comparative Assessment of Resistant and Susceptible Cultivars to Rust. **Molecular Biotechnology**, v. 64, n. 3, p. 263–277, 30 mar. 2022. doi: 10.1007/s12033-021-00405-9.
- RESTELATTO, S. S.; WILLE, P. E.; BUSS, N.; WILLE, C. L.; BOFF, M. I. C.; CONTINI, R. E.; FRANCO, C. R. Intraspecific variation in the *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) susceptibility to insecticides. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, 2021. doi: 10.1590/1983-40632021v5167353.

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, n. 2, p. 171–186, 2009. doi: 10.1111/j.1744-7348.2009.00348.x.

REYNOLDS, O. L.; PADULA, M. P.; ZENG, R.; GURR, G. M. Silicon: Potential to Promote Direct and Indirect Effects on Plant Defense Against Arthropod Pests in Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 13 jun. 2016. doi: 10.3389/fpls.2016.00744.

RIAZ, S.; JOHNSON, J. B.; AHMAD, M.; FITT, G. P.; NAIKER, M. A review on biological interactions and management of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Applied Entomology**, v. 145, n. 6, p. 467–498, 31 jul. 2021. doi: 10.1111/jen.12880.

ROSSETTO, C. J. . **Resistência de plantas a insetos**, 2019.

RUAN, Y.-L. Recent advances in understanding cotton fibre and seed development. **Seed Science Research**, v. 15, n. 4, p. 269–280, 22 dez. 2005. doi: 10.1079/SSR2005217.

SANTOS, A. F. B. dos; TEIXEIRA, G. C. M.; CAMPOS, C. N. S.; BAILO, F. H. R.; PRADO, R. de M.; TEODORO, L. P. R.; VILELA, R. G.; PAIVA NETO, V. B. de; TEODORO, P. E. Silicon increases chlorophyll and photosynthesis and improves height and NDVI of cotton (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e548973826, 26 maio 2020. doi: 10.33448/rsd-v9i7.3826.

SARFRAZ, M.; DOSDALL, L. M.; KEDDIE, B. A. Diamondback moth–host plant interactions: Implications for pest management. **Crop Protection**, v. 25, n. 7, p. 625–639, jul. 2006. doi: 10.1016/j.cropro.2005.09.011.

SHENG, H.; CHEN, S. **Plant silicon-cell wall complexes: Identification, model of covalent bond formation and biofunction** *Plant Physiology and Biochemistry*, Elsevier Masson SAS, , 1 out. 2020. . doi: 10.1016/j.plaphy.2020.07.020.

SILVA, A. A.; ALVARENGA, R.; MORAES, J. C.; ALCANTRA, E. Biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em Algodoeiro de Fibra Colorida Tratado com Silício. **EntomoBrasilis**, v. 7, n. 1, p. 65–68, 2014a. doi: 10.12741/ebrasilis.v7i1.365.

SILVA, A. A.; ALVARENGA, R.; MORAES, J. C.; ALCANTRA, E. Biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em Algodoeiro de Fibra Colorida Tratado com Silício. **EntomoBrasilis**, v. 7, n. 1, p. 65–68, 21 abr. 2014b. doi: 10.12741/ebrasilis.v7i1.365.

SILVA, C. S.; CORDEIRO, E. M. G.; PAIVA, J. B.; DOURADO, P. M.; CARVALHO, R. A.; HEAD, G.; MARTINELLI, S.; CORREA, A. S. Population expansion and genomic adaptation to agricultural environments of the soybean looper, *Chrysodeixis includens*. **Evolutionary Applications**, v. 13, n. 8, p. 2071–2085, 19 set. 2020. doi: 10.1111/eva.12966.

SILVA FILHO, M. de C.; FALCO, M. c. Interação planta-inseto. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v. jan./fe n., p. 38–42, 2000.

SILVA, I. P. F.; JUNIOR, J. . F. . S.; ARALDI, R.; TANAKA, A. . A.; GIROTTO, M.; BOSQUÊ, G. G.; LIMA, F. C. C. Estudo das fases fenológicas do algodão (*Gossypium hirsutum* L.). **Revista científica eletrônica de agronomia**, v. 20, n. 1677– 0293, p. 1–10, 2011.

SORGATTO, R. J.; BERNARDI, O.; OMOTO, C. Survival and Development of *Spodoptera frugiperda* and *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera : Noctuidae) on Bt Cotton and Implications for Resistance Management Strategies in Brazil. 2015. doi: 10.1093/ee/nvu018.

SOSA-GÓMEZ, D. R.; SPECHT, A.; PAULA-MORAES, S. V.; LOPES-LIMA, A.; YANO, S. A. C.; MICHELLI, A.; MORAIS, E. G. F.; GALLO, P.; PEREIRA, P. R. V. S.; SALVADORI, J. R.; BOTTON, M.; ZENKER, M. M.; AZEVEDO-FILHO, W. S. Timeline and geographical distribution of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera, Noctuidae: Heliiothinae) in Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 60, n. 1, p. 101–104, jan. 2016. doi: 10.1016/j.rbe.2015.09.008.

SOSA-GÓMEZ; R., D.; LASTRA, L.; C., C.; HUMBER, R. A. An Overview of Arthropod-Associated Fungi from Argentina and Brazil. **Mycopathologia**, v. 170, n. 1, p. 61–76, 22 jul. 2010. doi: 10.1007/s11046-010-9288-3.

SOUSA, A. C. G.; SOUZA, B. H. S.; MARCHIORI, P. E. R.; BÔAS, L. V. V. Characterization of priming, induced resistance, and tolerance to *Spodoptera frugiperda* by silicon fertilization in maize genotypes. **Journal of Pest Science**, v. 95, n. 3, p. 1387–1400, 18 jun. 2022. doi: 10.1007/s10340-021-01468-y.

SPANOS, G. A.; WROLSTAD, R. E. Influence of processing and storage on the phenolic composition of Thompson Seedless grape juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 38, n. 7, p. 1565–1571, 1 jul. 1990. doi: 10.1021/jf00097a030.

SPARKS, T. C.; CROSTHWAITE, A. J.; NAUEN, R.; BANBA, S.; CORDOVA, D.; EARLEY, F.; EBBINGHAUS-KINTSCHER, U.; FUJIOKA, S.; HIRAO, A.; KARMON, D.; KENNEDY, R.; NAKAO, T.; POPHAM, H. J. R.; SALGADO, V.; WATSON, G. B.; WEDEL, B. J.; WESSELS, F. J. Insecticides, biologics and nematicides: Updates to IRAC's mode of action classification - a tool for resistance management. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 167, p. 104587, jul. 2020. doi: 10.1016/j.pestbp.2020.104587.

SPECHT, A.; DE PAULA-MORAES, S. V.; SOSA-GÓMEZ, D. R. Host plants of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera, Noctuidae, Plusiinae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 59, n. 4, p. 343–345, out. 2015. doi: 10.1016/j.rbe.2015.09.002.

SPECHT, A.; SILVA, E. J. E.; LINK, D. Noctuídeos (Lepidoptera, Noctuidae) do museu entomológico Ceslau Biezanko, departamento de fitossanidade, faculdade de agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, RS. **Revista brasileira Agrociência**, v. 10, n4, p. 389–409, 2004.

SPECHT, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; PAULA-MORAES, S. V. de; YANO, S. A. C. Identificação morfológica e molecular de *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) e ampliação de seu registro de ocorrência no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 6, p. 689–692, jun. 2013. doi: 10.1590/S0100-204X2013000600015.

SRIKANTH, P.; MAXTON, A.; MASIH, S. A. Bt cotton: A boon against insect resistance. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8–2, p. 202–205, 2019.

STACKE, R. F.; GIACOMELLI, T.; BRONZATTO, E. S.; HALBERSTADT, S. A.; GARLET, C. G.; MURARO, D. S.; GUEDES, J. V. C.; BERNARDI, O. Susceptibility of Brazilian Populations of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) to Selected Insecticides. **Journal of Economic Entomology**, v. 112, n. 3, p. 1378–1387, 22 maio 2019. doi: 10.1093/jee/toz031.

STATSOFT. **STATISTICA (data analysis software system)**, Tulsa, 2004.

SUZANA, C. S.; DAMIANI, R.; FORTUNA, L. S.; SALVADORI, J. R. Desempenho de larvas de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes fontes alimentares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 480–485, dez. 2015. doi: 10.1590/1983-40632015v45i36733.

TANG, J.; LU, J.; ZHANG, C.; YU, S.; DING, Z.; SOE, E. T.; LIANG, G. The evaluation of resistance risk to Cry2Ab and cross-resistance to other insecticides in *Helicoverpa armigera*. **Journal of Pest Science**, 17 jun. 2023. doi: 10.1007/s10340-023-01646-0.

THAKUR, M.; SOHAL, B. S. Role of Elicitors in Inducing Resistance in Plants against Pathogen Infection: A Review. **ISRN Biochemistry**, v. 2013, p. 1–10, 28 jan. 2013. doi: 10.1155/2013/762412.

THOMMA, B. P. H. J.; NÜRNBERGER, T.; JOOSTEN, M. H. A. J. Of PAMPs and Effectors: The Blurred PTI-ETI Dichotomy. **The Plant Cell**, v. 23, n. 1, p. 4–15, jan. 2011. doi: 10.1105/tpc.110.082602.

TOSSOU, E.; TEPA-YOTTO, G.; KPINDOU, O. K. D.; SANDEU, R.; DATINON, B.; ZEUKENG, F.; AKOTON, R.; TCHIGOSSOU, G. M.; DJÈGBÈ, I.; VONTAS, J.; MARTIN, T.; WONDJI, C.; TAMÒ, M.; BOKONON-GANTA, A. H.; DJOUAKA, R. Susceptibility Profiles of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to Deltamethrin Reveal a Contrast between the Northern and the Southern Benin. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 11, p. 1882, 28 maio 2019. doi: 10.3390/ijerph16111882.

ULHOA, L. A.; BARRIGOSI, J. A. F.; BORGES, M.; LAUMANN, R. A.; BLASSIOLI-MORAES, M. C. Differential induction of volatiles in rice plants by two stink bug species influence behaviour of conspecifics and their natural enemy *Telenomus podisi*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 168, n. 1, p. 76–90, 17 jan. 2020. doi: 10.1111/eea.12869.

VARGAS-HERNANDEZ, M.; MACIAS-BOBADILLA, I.; GUEVARA-GONZALEZ, R. G.; ROMERO-GOMEZ, S. de J.; RICO-GARCIA, E.; OCAMPO-VELAZQUEZ, R. V.; ALVAREZ-ARQUIETA, L. de L.; TORRES-PACHECO, I. Plant Hormesis Management with Biostimulants of Biotic Origin in Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 13 out. 2017. doi: 10.3389/fpls.2017.01762.

VIANA, D. de L.; NETTO, J. C.; AGUIRRE-GIL, O. J.; BUSOLI, A. C. Parâmetros biológicos da lagarta falsa-medideira em cultivares de algodoeiro com as proteínas Cry1Ac e Cry1F. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 7, p. 569–572, jul. 2014. doi: 10.1590/S0100-204X2014000700010.

VIEGAS JÚNIOR, C. Terpenos com atividade inseticida: uma alternativa para o controle químico de insetos. **Química Nova**, v. 26, n. 3, p. 390–400, maio 2003. doi: 10.1590/S0100-40422003000300017.

VILELA, A. E.; DE RESENDE, M. L. V.; DE MEDEIROS, F. C. L.; PEREIRA, M. H. de B.; SANTIAGO, W. D.; DE AZEVEDO SANTOS, L.; DOS SANTOS BOTELHO, D. M.; RAMALHO, T. C. Association phosphite x fungicide: protection against powdery mildew in soybean plants, translocation and computer simulation. **Journal of Plant Pathology**, v. 104, n. 2, p. 787–793, 22 maio 2022. doi: 10.1007/s42161-022-01086-2.

VILELA, M.; MORAES, J. C.; ALVES, E.; SANTOS-CIVIDANES, T. M.; SANTOS, F. A. No Title. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 40, n. 0120–0488, p. 44–48, 2014.
WANG, X.; CHEN, H.; SHAN, Z.; HAO, Q.; ZHANG, C.; YANG, Z.; ZHANG, X.; YUAN, S.; QIU, D.; CHEN, S.; JIAO, Y.; ZHOU, X. Herbivore defense responses and associated herbivore defense mechanism as revealed by comparing a resistant wild soybean with a susceptible cultivar. **The Crop Journal**, v. 3, n. 6, p. 451–467, dez. 2015. doi: 10.1016/j.cj.2015.07.001.

WU, K.; MU, W.; LIANG, G.; GUO, Y. Regional reversion of insecticide resistance in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) is associated with the use of Bt cotton in northern China. **Pest Management Science**, v. 61, n. 5, p. 491–498, maio 2005. doi: 10.1002/ps.999.

XIAO, Y.; WU, K. Recent progress on the interaction between insects and *Bacillus thuringiensis* crops. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 374, n. 1767, p. 20180316, 4 mar. 2019. doi: 10.1098/rstb.2018.0316.

YE, M.; SONG, Y.; LONG, J.; WANG, R.; BAERSON, S. R.; PAN, Z.; ZHU-SALZMAN, K.; XIE, J.; CAI, K.; LUO, S.; ZENG, R. Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 110, n. 38, 17 out. 2013. doi: 10.1073/pnas.1305848110.

ZALUCKI, M. P.; FURLONG, M. J. Forecasting *Helicoverpa* populations in Australia: A comparison of regression based models and a bioclimatic based modelling approach. **Insect Science**, v. 12, n. 1, p. 45–56, 22 fev. 2005. doi: 10.1111/j.1672-9609.2005.00007.x.

ZAYED, M. S.; TAHA, E.-K. A.; HASSAN, M. M.; ELNABAWY, E.-S. M. Enhance Systemic Resistance Significantly Reduces the Silverleaf Whitefly Population and Increases the Yield of Sweet Pepper, *Capsicum annum* L. var. *annuum*. **Sustainability**, v. 14, n. 11, p. 6583, 27 maio 2022. doi: 10.3390/su14116583.

ZHANG, C.; WANG, L.; ZHANG, W.; ZHANG, F. Do lignification and silicification of the cell wall precede silicon deposition in the silica cell of the rice (*Oryza sativa* L.) leaf epidermis? **Plant and Soil**, v. 372, n. 1–2, p. 137–149, 5 nov. 2013. doi: 10.1007/s11104-013-1723-z.

ZUNUN-PÉREZ, A. Y.; GUEVARA-FIGUEROA, T.; JIMENEZ-GARCIA, S. N.; FERREGRINO-PÉREZ, A. A.; GAUTIER, F.; GUEVARA-GONZÁLEZ, R. G. Effect of foliar application of salicylic acid, hydrogen peroxide and a xyloglucan oligosaccharide on capsiate content and gene expression associated with capsinoids synthesis in *Capsicum*

annuum L. **Journal of Biosciences**, v. 42, n. 2, p. 245–250, 20 jun. 2017a. doi:
10.1007/s12038-017-9682-9.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

**ARTIGO 1 - RESISTÊNCIA E TOLERÂNCIA INDUZIDA PELA APLICAÇÃO DE
SILÍCIO EM ALGODOEIRO A *Chrysodeixis includens* (LEPIDOPTERA:
NOCTUIDAE)**

Fernanda S. Ferreira¹; Bruno H. S. Souza¹; Tharyn Reichel²; Mário Lúcio Vilela de Resende²

¹Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG, Brasil, Câmpus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000.

²Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG, Brasil, Câmpus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000.

* Autora correspondente: Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG, Brasil, Câmpus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Telefone: (65) 99660-3596 Email: fernanda.agronomiaunemat@hotmail.com

RESUMO

Uma alternativa de controle ambientalmente sustentável que tem sido utilizada em alguns sistemas agrícolas é a indução de resistência ao ataque de pragas pela aplicação de silício (Si). Este trabalho avaliou a aplicação via solo de doses de silício (Si) na indução de resistência de algodoeiro a *C. includens*. O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação e laboratório. O primeiro experimento consistiu na avaliação de 6 doses de Si, com 20 repetições. As doses de Si foram aplicadas no solo como solução de ácido silícico (H_4SiO_4) a 1% nas doses equivalentes a 1, 2, 3, 4 e 5 t ha⁻¹. As plantas de algodão, (cv. convencional TMG 62 Rf) foram infestadas com três lagartas neonatas de *C. includens*, confinadas nas folhas em gaiolas de tecido voile. Após 7 dias, foi avaliada a mortalidade, peso das lagartas sobreviventes, injúria nas folhas e teor relativo de clorofila. O mesmo procedimento foi realizado na fase reprodutiva do algodoeiro. O segundo experimento consistiu na utilização da dose de Si (4 ton ha⁻¹) que obteve os melhores resultados no experimento anterior para investigar os efeitos na tolerância do algodoeiro à herbivoria de *C. includens*. O experimento foi conduzido em em esquema fatorial 2 x 2, representados pela fertilização com Si e herbivoria. Aos 30 dias após a emergência das plantas, aplicou-se a solução de Si no solo via drench, e em seguida foram transferidas no terço médio das plantas três lagartas neonatas de *C. includens*, confinadas nas folhas em gaiolas de tecido voile. Após duas semanas foram avaliados a altura das plantas, massa seca e quantificação do acúmulo de Si nas folhas. Outro lote de plantas foi utilizado para contagem de glândulas de gossipol e determinação dos teores de fenóis totais e lignina nas folhas. A fertilização do algodoeiro com Si reduziu a sobrevivência e peso das lagartas. Dentre as doses testadas de Si, 4 ton há⁻¹ foi a que se sobressaiu às demais, sendo selecionada para a segunda etapa do experimento, que avaliou o efeito da fertilização na tolerância do algodoeiro à herbivoria de *C. includens*. As concentrações foliares de Si nas plantas fertilizadas foram duas vezes maiores que nas plantas controle. Constatou-se que a fertilização com Si, e conseqüentemente o acúmulo do elemento nos tecidos do algodoeiro, aumentou consideravelmente a altura e biomassa das folhas, ramos e raízes, além do teor foliar de clorofila. A aplicação de Si em algodoeiro demonstrou pela primeira vez na literatura para essa cultura que o mineral atua como um elicitador e bioestimulante nas plantas.

Palavras-chave: elicitador; falsa-medideira; *Gossypium hirsutum*; biostimulante; indução de resistência.

ABSTRACT

This work evaluated the soil application of Si doses in the induction of cotton resistance to *C. includens*. The experiment was conducted under greenhouse and laboratory conditions, belonging to the Laboratory of Plant Resistance and Integrated Pest Management (LARP-MIP), Department of Entomology, Federal University of Lavras (UFLA). In laboratory and greenhouse, the tests were conducted under controlled environmental conditions. The experiment consisted of the evaluation of 6 treatments representing the Si doses, with 20 repetitions, so that each repetition was represented by a vase with a plant, totaling 120 vases. Si doses were applied to the soil as a 1% solution of silicic acid (H_4SiO_4) (Vertec Química Fina, Duque de Caxias, Brazil), at doses equivalent to 1, 2, 3, 4 and 5 t ha⁻¹. Plants were infested with three neonate caterpillars of *C. includens*, which were confined on leaves in fabric cages. After 7 days, larval mortality, weight of surviving caterpillars, leaf injury and relative chlorophyll content were evaluated. The same procedure was carried out after 45 days in the reproductive phase of the cotton plant, evaluating the same parameters. The second experiment consisted of using the Si dose that obtained the best results in the previous experiment (4 ton ha⁻¹) to investigate the induced effects of tolerance to herbivory by *C. includens*. The experiment was carried out in a completely randomized design in a 2 x 2 factorial scheme, with 25 repetitions, each repetition was represented by a vase with a plant. At 30 days after plant emergence, the Si solution was applied to the soil via drench. After application, three newborn caterpillars from the rearing colony were transferred to the middle third of the plants with a fine brush. The caterpillars were confined on the leaves in voile fabric cages (15 x 10 cm) attached to the petiole with twisting wire. After two weeks, the caged leaves were opened to remove the surviving caterpillars, and 10 plants per treatment were used to assess height, dry mass and quantification of Si accumulation in the leaves. Another batch of 10 plants per treatment was used to count the gossypol glands, and another five plants to determine the total phenols and lignin contents. The reading of the relative content of chlorophyll in the leaves was carried out in all 25 plants. We found that Si fertilization on cotton reduced caterpillar survival and promoted weight reduction. Among the doses tested, the 4 ton ha⁻¹ was the one that stood out from the others, being selected to continue the second part of the article that evaluated the effect of this application on the tolerance of the cotton plant to the herbivory of *C. includens*. Leaf concentrations of Si in fertilized cotton plants were twice as high as in plants that did not receive the element via the soil. It was found that fertilization with Si, and consequently the accumulation of the element in cotton tissues, considerably increased the height and biomass of leaves, branches and roots, in addition to leaf chlorophyll content.

Keywords: elicitor; soybean looper; *Gossypium hirsutum*; biostimulant; resistance induction.

1 INTRODUÇÃO

A incidência de insetos-praga é uma das maiores limitações ao cultivo de algodão, principalmente devido aos ataques de lagartas desfolhadoras (BUSOLI et al., 2011; LIMA, 2017). A lagarta-falsa-medideira *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) é um dos lepidópteros mais importantes no Brasil pela sua alta tolerância natural a inseticidas, com ocorrência de falhas de controle descritas no campo (MOSCARDI et al., 2012; PERINI et al., 2021). São lagartas polífagas que podem ocorrer em mais de 175 plantas hospedeiras, apresentando preferência pelas culturas da soja, feijão, algodão e girassol (BALDIN; LOURENÇÃO; SCHLICK-SOUZA, 2014). Geralmente as lagartas são remanescentes do cultivo antecedente de soja e possuem alto potencial de danos à cultura algodoeira ocasionados pela desfolha (ANDRADE et al., 2016; FUNICHELLO et al., 2019). A capacidade de *C. includens* em se desenvolver em várias culturas, possuir alta capacidade reprodutiva com inúmeras gerações ao ano e se dispersar em diferentes regiões, sua ocorrência se dá durante o ano todo, estando presente em toda América do Sul (SPECHT; DE PAULA-MORAES; SOSA-GÓMEZ, 2015; SILVA et al., 2020).

Nos primeiros ínstaes, as lagartas de *C. includens* se alimentam das folhas tenras do terço inferior do algodão, raspando a área foliar entre as nervuras, porque apresentam baixo teor de fibras que facilita digeri-las. Esse hábito de alimentação causa aspecto rendilhado na folha. As lagartas maiores se tornam menos exigentes e se alimentam de folhas mais fibrosas, nos terços inferior e médio das plantas. Em altas populações, as lagartas podem se alimentar do terço superior das plantas, causando desfolhamento acentuado e levando a prejuízos na produção. Desfolhas tardias durante o período de abertura dos capulhos pode ocorrer, de modo que o controle deve ser realizado antes da deposição de excrementos nas fibras (FREITAS BUENO et al., 2011).

Os principais métodos de controle de *C. includens* são baseados na aplicação de inseticidas químicos e o uso de cultivares transgênicas nas culturas de soja e algodão. Além desses principais métodos, o uso do controle biológico em cultivos convencionais está se tornando uma ferramenta promissora, devido à produção de algodão orgânico e à busca por uma produção mais sustentável (HETTWER et al., 2023). O número total de casos documentados de espécies resistentes a inseticidas chega a 16570, cerca de 603 espécies de insetos resistentes a 339 inseticidas e a 7 eventos de plantas que expressam a proteína derivada de *Bacillus thuringiensis* Berliner (SPARKS et al., 2020). Para a *C. includens*, vários trabalhos relatam a sua tolerância natural a vários grupos químicos de inseticidas (flubendiamida,

clorantraniliprole, metomil, lambdacialotrina, metoxifenozída, novaluron, teflubenzuron e espinosade), a menor exposição no momento da pulverização ao preferir se abrigar no terço médio das plantas, pode ser um fator determinante (STACKE et al., 2019; QUEIROZ et al., 2020; RESTELATTO et al., 2021; BUSS et al., 2022).

Sistemas de produção orgânica de algodão, que é cultivado dentro de um sistema que fomenta a atividade biológica e estimula a sustentabilidade e evita o uso de inseticidas e transgênicos, exigem um manejo diferenciado da produção convencional. A busca pela produção do algodão sustentável é uma demanda crescente, motivada por movimentos sociais e ecológicos globais para produção têxtil ambientalmente correta. Países como a China, Índia, Estados Unidos, Brasil e Paquistão são aqueles com maiores potenciais na busca dessa expansão. Uma alternativa de controle ambientalmente sustentável que tem sido utilizada em alguns sistemas agrícolas é a indução de resistência ao ataque de pragas pela aplicação de silício (Si). O Si é um elemento encontrado naturalmente nos solos, em menores quantidades na forma absorvível pelas raízes como ácido silícico (H_4SiO_4). Apesar do Si não ser um elemento essencial ao desenvolvimento vegetal, trabalhos demonstram seu efeito benéfico ao estimular o crescimento compensatório das plantas e conferir proteção a fatores de estresse abióticos e bióticos, além de maior atração e melhoria do desempenho de inimigos naturais (LIU et al., 2017; DE OLIVEIRA et al., 2020).

Os compostos secundários e proteínas de defesa produzidas pelas plantas por meio da indução de resistência com elicitores como o Si têm efeitos diversos em insetos-praga. O efeito do Si no desempenho biológico de insetos desfolhadores ocorre devido às alterações anatômicas nos tecidos vegetais, como a produção de células epidérmicas mais espessas, resultando na formação de uma barreira mecânica que promove maior resistência aos insetos mastigadores e efeitos negativos no desenvolvimento em diferentes culturas (GOUSSAIN et al., 2002; FREITAS; JUNQUEIRA; FILHO, 2012; SILVA et al., 2014a; DOS SANTOS et al., 2015; NASCIMENTO et al., 2018; NAGARATNA et al., 2022). Além disso, o Si pode influenciar a expressão de genes que irão estimular atividades de enzimas antioxidantes e a síntese de metabólitos secundários relacionados aos processos de defesa das plantas, considerados um elicitador de defesas ou bioestimulante que podem se manifestar como resistência e tolerância, (OLIVEIRA et al., 2020).

Os efeitos de indução de tolerância pela aplicação de Si ao ataque de lagartas desfolhadoras foram reportados pela primeira vez nas culturas de trigo e outras gramíneas pela aplicação de Si. Nesses trabalhos, a fertilização com Si contribuiu para um efeito compensatório

no crescimento das plantas sob ataque das lagartas e na maior produção de tricomas foliares (JOHNSON et al., 2019; ISLAM; MOORE; JOHNSON, 2022). Também foram demonstrados efeitos na indução de tolerância em plantas de milho de uma variedade crioula com aplicação de Si ao ataque da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), o que não ocorreu com um híbrido comercial de milho (SOUSA et al., 2022).

Poucos estudos foram realizados até o momento com aplicação de Si na produção da cultura do algodoeiro (BOYLSTON et al., 1990a; SILVA et al., 2014b; ALCANTRA et al., 2019; DE SOUZA JÚNIOR et al., 2022). Além disso, entre os trabalhos conduzidos, ainda não há informações sobre a resposta da cultura algodoeira quanto à indução de defesas ao ataque de insetos-praga, quer seja por meio de resistência ou tolerância. A aplicação de Si constitui uma estratégia promissora para complementar as estratégias de manejo integrado de pragas em diversas culturas onde já foi avaliada, podendo também ser viável para lagartas desfolhadoras em algodoeiro. Assim, este trabalho avaliou a aplicação via solo de doses de Si na indução de resistência e tolerância de algodoeiro a *C. includens*.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Experimento 1: doses de Si na indução de resistência a *C. includens* nas fases vegetativa e reprodutiva de algodoeiro

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação e laboratório, pertencentes ao Laboratório de Resistência de Plantas e Manejo Integrado de Pragas (LARP-MIP), Departamento de Entomologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Em laboratório os ensaios foram conduzidos em condições ambientais controladas (26 ± 2 °C; $70 \pm 10\%$ UR; 12C:12E h) e em casa de vegetação em condições de temperatura controlada (25 ± 2 °C), com luminosidade e umidade relativa ambiente.

A semeadura do algodoeiro foi realizada em vasos de polietileno de 11 L preenchidos com solo (latossolo vermelho escuro) e esterco previamente peneirados, na proporção 2:1. Foi utilizada a cultivar TMG 62 Rf (convencional), e foram semeadas cinco sementes por vaso. Neste estudo optou-se por utilizar uma cultivar convencional não Bt a fim de verificar de forma mais clara os efeitos do Si na indução das defesas. Após a germinação, foi realizado o desbaste, deixando-se uma planta por vaso. Os vasos foram dispostos aleatoriamente na casa de vegetação, sendo a umidade do substrato mantida por meio de irrigações intercaladas. A aplicação de Si foi realizada na fase vegetativa do algodão, aos 30 dias após a semeadura em V5.

O experimento consistiu na avaliação de 6 tratamentos representando as doses de Si, com 20 repetições, de modo que cada repetição foi representada por um vaso com uma planta, totalizando 120 vasos. As doses de Si foram aplicadas no solo como solução de ácido silícico (H_4SiO_4) a 1% (Vertec Química Fina, Duque de Caxias, Brasil), nas doses equivalentes a 1, 2, 3, 4 e 5 t ha^{-1} , que correspondem proporcionalmente a: T0= testemunha (água); T1=5,5 g/vaso; T2=11,0 g/vaso; T3=16,5 g/vaso; T4=22,0 g/vaso; T5=27,5 g/vaso. As doses foram diluídas em 1 L de água, e aplicadas no solo via *drench*.

Para avaliação da indução de resistência por Si nas estruturas vegetativas do algodoeiro, as plantas foram infestadas com lagartas neonatas de *C. includens* provenientes de uma colônia de criação em laboratório. A criação dos insetos foi mantida em uma sala climatizada com temperatura de $25\pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa de $60\pm 10\%$ e fotoperíodo de 12C:12E h. Os insetos foram alimentados na fase larval com dieta artificial à base de feijão e os adultos com solução de água e mel a 10% (GREENE; LEPPLA; DICKERSON, 1976). Para a infestação nas plantas, três lagartas neonatas de *C. includens* foram transferidas com auxílio de um pincel fino no terço médio das plantas, as quais foram confinadas nas folhas em gaiolas de tecido *voile* (15 x 10 cm) e presas com arame de torcer. Após 7 dias, as folhas engaioladas foram destacadas das plantas com uma tesoura e levadas ao laboratório para avaliação dos seguintes parâmetros: mortalidade larval, peso das lagartas sobreviventes, injúria nas folhas e teor relativo de clorofila.

A sobrevivência larval foi avaliada com base no estado biológico das lagartas, confirmando-se pela presença ou ausência de movimentação. As lagartas vivas foram pesadas em uma balança analítica de precisão (AG200, GEHAKA, São Paulo, Brasil). O percentual de injúria causado na folha foi avaliado por uma escala visual de notas de raspagem com variação entre 0 e 6, elaborada em função da herbivoria (Tabela 1). O teor relativo de clorofila foi medido com o auxílio do equipamento portátil SPAD-502 (Konica Minolta Sensing, TECNAL, Piracicaba, Brasil).

Tabela 1 - Escala de notas de injúria baseado no percentual de desfolha de plantas de algodão pela infestação de lagartas *C. includens*.

Nota	% Injúria visual
0	0%
1	<5%
2	>5% a <10%
3	>10% a <25%
4	>25% a <30%
5	>30% a <40%
6	>40%

Fonte: Do autor (2023)

Para avaliação do efeito de indução de resistência na fase reprodutiva das plantas de algodão, o mesmo protocolo citado anteriormente foi aplicado utilizando as mesmas plantas, após 45 dias da avaliação anterior.

Experimento 2: Si na indução de tolerância de algodoeiro a *C. includens*

O segundo experimento consistiu na utilização da dose de Si que obteve os melhores resultados em função dos parâmetros avaliados no experimento anterior (4 ton ha⁻¹) para investigar os efeitos induzidos de tolerância à herbivoria de *C. includens*. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 2, com 25 repetições, de modo que cada repetição foi representada por um vaso com uma planta, totalizando 100 vasos. Os tratamentos aqui avaliados foram os seguintes: T1: com silício e com herbivoria (Si+H+); T2: com silício e sem herbivoria (Si+H-); T3: sem silício e com herbivoria (Si-H+); e T4: sem silício e sem herbivoria (Si-H-).

A semeadura do algodoeiro, cultivar TMG 62 Rf (convencional), foi realizada em vasos de 4 L e preenchidos com solo e esterco previamente peneirados, na proporção 2:1. Após a germinação, foi realizado o desbaste, deixando-se uma planta por vaso. Os vasos foram dispostos aleatoriamente na casa de vegetação (temperatura média: 25°C; U.R.: 60%), sendo a umidade do substrato mantida por meio de irrigações intercaladas. Aos 30 dias após a emergência das plantas, para os tratamentos com aplicação de Si, diluiu-se 8,0 g de SiO₂ em 500 mL de água, e a solução foi aplicada no solo via *drench*, próximo à base das plantas. Posteriormente, três dias após a aplicação, foram transferidas no terço médio das plantas com um pincel fino três lagartas neonatas provenientes da colônia de criação. As lagartas foram

confinadas nas folhas em gaiolas de tecido *voile* (15 x 10 cm) presas no pecíolo com arame de torcer.

Após duas semanas, as folhas engaioladas foram abertas para retirada das lagartas sobreviventes, e 10 plantas por tratamento foram utilizadas para avaliação da massa seca e quantificação do acúmulo de Si nas folhas. Outro lote de 10 plantas por tratamento foi utilizado para a contagem de glândulas de gossipol, e mais cinco plantas para determinação dos teores de fenóis totais e lignina. A leitura do teor relativo de clorofila nas folhas foi realizada em todas as 25 plantas. Essas avaliações estão descritas detalhadamente a seguir.

2.2 Avaliação do crescimento das plantas e concentração foliar de Si em algodoeiro

A avaliação do crescimento das plantas foi realizada em 10 plantas escolhidas ao acaso na casa de vegetação, antes e após a aplicação de Si e da infestação das lagartas. A altura foi medida com o auxílio de uma régua, desde a superfície do solo até a inserção da última folha no ápice da planta. Para a determinação da massa seca, as plantas foram retiradas cuidadosamente do vaso com o solo bem úmido, e cortadas na base da planta, de modo que foram separadas em parte aérea e raiz. A parte aérea foi separada a seguir em folhas e ramos. Cada parte da planta foi embalada em saco de papel e secas em estufa de circulação forçada a 60° C por 72 h (TE-394/2, TECNAL, Piracicaba, Brasil), e em seguida pesadas com auxílio de uma balança. Posteriormente, as frações da parte aérea das plantas foram moídas com o auxílio de um liquidificador até atingir um pó fino, acondicionado em recipientes de plástico e encaminhado ao laboratório de nutrição de plantas/relação solo-planta (UFLA, Lavras, MG, Brasil). A análise foliar de Si foi realizada de acordo com a metodologia de KORNDÖRFER (2004).

2.3 Quantificação de glândulas de gossipol e concentrações de lignina, compostos fenólicos totais e clorofila

Para a contagem das glândulas de gossipol, as folhas das plantas foram transferidas da casa de vegetação para o laboratório e examinadas sob microscópio estereoscópio (40x de aumento). Foram utilizadas 10 repetições para cada tratamento, com plantas de 40 dias de idade. De cada 10 plantas, uma folha do terço médio foi destacada para a avaliação do número de glândulas por área foliar (cm²). As avaliações foram feitas com o auxílio de um contador na parte abaxial e adaxial próxima à nervura central.

As análises de compostos fenólicos totais e lignina foram realizadas em cinco plantas de cada tratamento. Uma folha de cada planta foi destacada com o auxílio de uma tesoura e

acondicionada em um saco plástico revestido com papel alumínio, as quais foram armazenadas em isopor com nitrogênio líquido ao fundo para transporte das amostras até o Departamento de Fitopatologia da UFLA. As amostras foram armazenadas em um freezer com temperatura de -40° C. As folhas foram maceradas com nitrogênio líquido, e posteriormente, o tecido macerado foi liofilizado e homogeneizado com metanol a 80%. O sobrenadante foi utilizado para quantificar os compostos fenólicos totais e o precipitado para quantificar a lignina. Foi utilizado o método de SPANOS e WROLSTAD (1990) para quantificação dos compostos fenólicos totais, sendo o volume da reação de 200 µL e a absorbância foi quantificada usando um espectrofotômetro de microplacas (PowerWave XS, BioTek, Winooski, VT, EU) a 725 nm. O teor total de compostos fenólicos (µg de tecido seco equivalente a mg⁻¹ ácido clorogênico) foi calculado com base em uma curva padrão produzida a partir das concentrações de ácido clorogênico.

Para lignina, a metodologia utilizada foi a descrita por REICHEL et al. (2022), sendo o teor de lignina (µg por mg de tecido seco) calculado usando uma curva padrão, de acordo com DOSTER (1988). Foram conduzidas três réplicas técnicas, e a quantificação foi realizada usando um espectrofotômetro de microplacas.

O teor relativo de clorofila foi avaliado por meio de um medidor portátil SPAD-502 (Konica Minolta Sensing, TECNAL, Piracicaba, Brasil). Utilizou-se a média de três leituras/planta nas folhas mais novas do algodoeiro, utilizando como repetições 25 plantas de cada tratamento.

2.4 Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados em relação à normalidade dos resíduos e homocedasticidade. Dados que apresentaram distribuição normal foram submetidos à análise de variância e quando significativa as médias dos tratamentos comparadas pelo teste Tukey ($\alpha=0,05$). Dados que não apresentaram normalidade, foram submetidos à análise por meio de modelos lineares generalizados (GLM), com família Poisson e função de ligação log. Foi utilizado o software Statistica v.7 (STATSOFT, 2004).

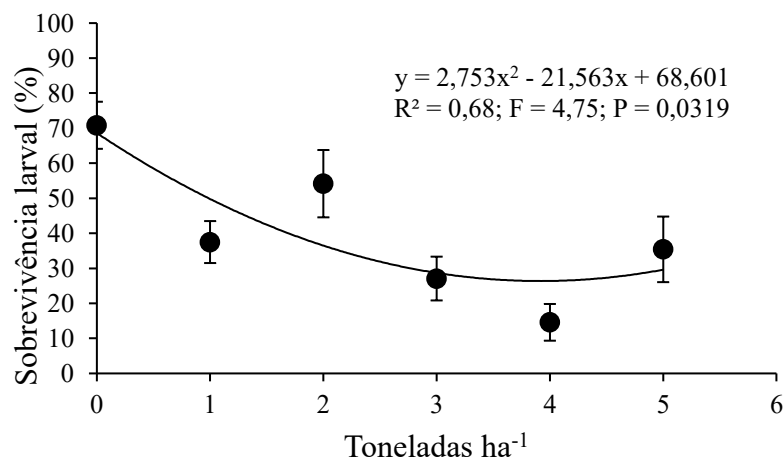
3 RESULTADOS

3.1 Experimento 1: doses de Si na indução de resistência a *C. includens* nas fases vegetativa e reprodutiva de algodoeiro

Analisando-se os efeitos da aplicação de Si na sobrevivência de *C. includens* em algodoeiro, houve diferença significativa para as doses testadas ($F=28,41$; $P=0,0003$) em relação à testemunha. Observa-se que com o aumento das doses de Si obteve-se uma diminuição gradual da sobrevivência larval até estabilizar a partir da dose de 3 t ha⁻¹, de modo que a reta de regressão se ajustou ao modelo polinomial quadrático (Figura 1).

Para a testemunha, que consistiu na aplicação apenas de água nas plantas de algodão, lagartas de *C. includens* tiveram sobrevivência de 70,83%, diferindo dos demais tratamentos (Figura 2A). A dose que proporcionou menor sobrevivência larval foi a de 4 t ha⁻¹, com 14,58%, se destacando das demais doses testadas. A aplicação de 1, 3 e 5 t ha⁻¹ de Si apresentaram valores intermediários de sobrevivência larval (27,08% a 37,50%), sendo diferentes entre si e similares à dose de 4 t ha⁻¹.

Figura 1 - Análise de regressão das doses de silício na sobrevivência de *C. includens* em algodoeiro no estágio vegetativo.



Fonte: Do autor (2023)

Os efeitos das doses crescentes de Si no peso larval de *C. includens*, injúria e teor relativo de clorofila não foram ajustados aos modelos linear, quadrático ou cúbico de regressão. Assim, as médias dos tratamentos foram analisadas por ANOVA, e os resultados apresentados a seguir.

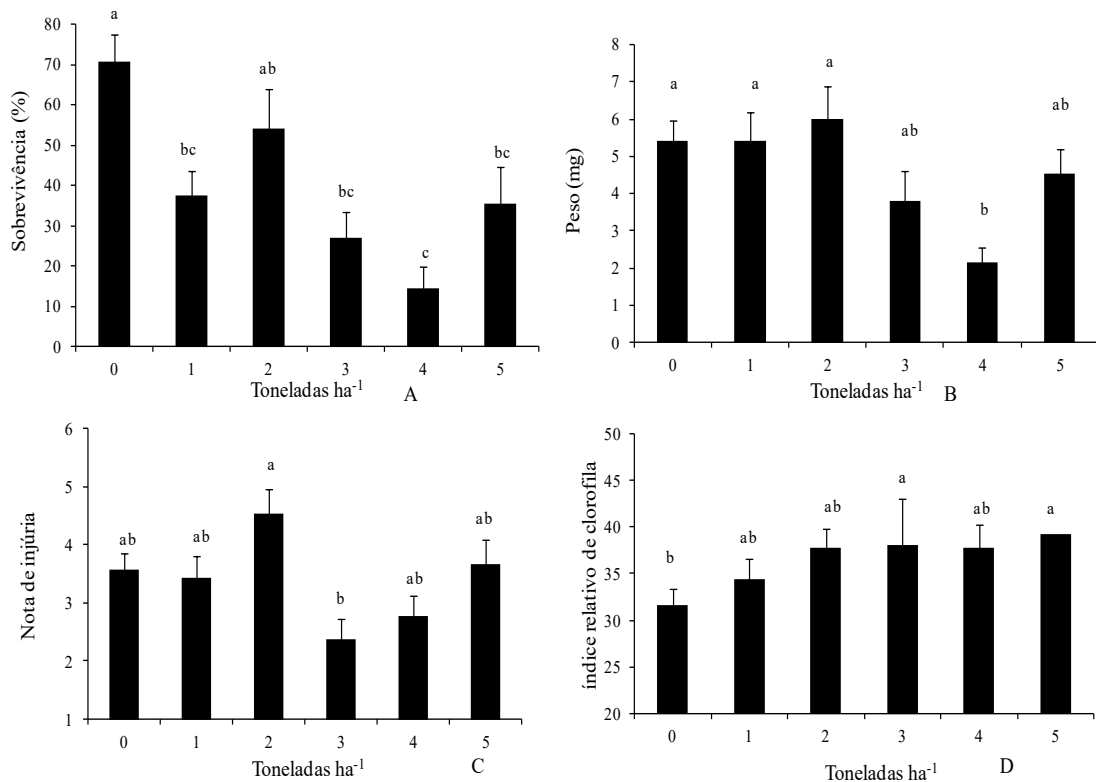
O peso larval de *C. includens* foi afetado significativamente ($F=18,96$; $P=0,0019$) em função das doses de Si (Figura 2B). Os tratamentos correspondentes a 0, 1 e 2 t ha⁻¹ não

diferiram entre si. As lagartas alimentadas com plantas de algodão submetidas a essas doses obtiveram melhor conversão em ganho de peso, e a dose 2 t ha⁻¹ numericamente se destacou das demais, com peso larval de 5,5 mg. A aplicação de 3 e 5 t ha⁻¹ de Si foram similares a todos os tratamentos, com peso larval intermediário (3,8 a 4,52 mg). A dose de 4 t ha⁻¹ foi a que proporcionou menor ganho de peso das lagartas.

Para a injúria ocasionada pelas lagartas de *C. includens*, os tratamentos foram similares entre si ($F=19,77$; $P=0,0013$), diferindo apenas para a maior nota de injúria nas plantas que receberam a dose de 2 t ha⁻¹ e a menor injúria com a dose de 3 t ha⁻¹, com notas de 4,54 e 2,38, respectivamente (Figura 2C).

Para o índice relativo de clorofila ($F=18,91$; $P=0,0001$) após infestação das lagartas, as doses de 3 e 5 t ha⁻¹ foram significativamente superiores às demais (38,08 e 39,28), e a testemunha apresentou menor teor foliar de clorofila (31,61). As demais doses de Si apresentaram valores intermediários (34,48 a 37,81) e não diferiram entre si (Figura 2D).

Figura 2 - Doses de Si no desempenho biológico de *C. includens* e crescimento do algodoeiro no estágio vegetativo. Sobrevivência (A), Peso (B), Nota de injúria (C), Índice relativo de clorofila (D).

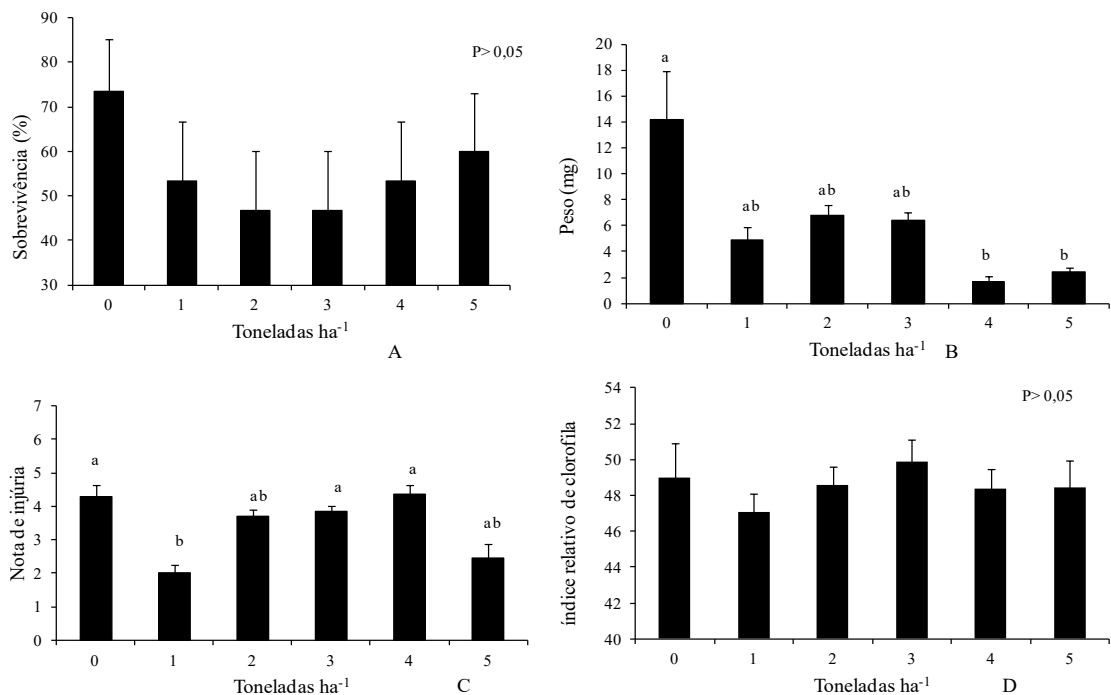


Fonte: Do autor (2023)

No estágio reprodutivo do algodoeiro, a sobrevivência larval de *C. includens* e o índice relativo de clorofila (Figuras 3A e 3D) não foram significativos em função das doses de Si ($P > 0,05$). As doses de Si que proporcionaram maior redução no peso larval foram 4 e 5 t ha⁻¹ ($F=13,73$; $P=0,0200$), as quais não diferiram entre si, com pesos de 1,72 e 2,43 mg, respectivamente (Figura 3B). A testemunha proporcionou maior peso larval (14,2 mg), e as doses de 1, 2 e 3 t Si ha⁻¹ proporcionaram pesos intermediários, não diferindo tanto da testemunha quanto das doses de 4 e 5 t ha⁻¹.

As maiores notas de injúria ocasionadas nas folhas de algodoeiro por *C. includens* foram na testemunha e com as doses de 3 e 4 t ha⁻¹, cujos tratamentos não diferiram entre si para este parâmetro ($F=19,32$; $P=0,0016$), (Figura 3C). A nota de injúria obtida para a dose 1 ton de Si ha⁻¹ foi a menor entre os tratamentos, não diferindo significativamente das doses de 2 e 5 t ha⁻¹.

Figura 3 - Doses de Si no desempenho biológico de *C. includens* e crescimento de algodoeiro no estágio reprodutivo. Sobrevivência (A), Peso (B), Nota de injúria (C), Índice relativo de clorofila (D).



Fonte: Do autor (2023)

A nota de injúria obtida para a dose de 1 t Si ha⁻¹ foi a menor dentre os tratamentos, enquanto as lagartas alimentadas com algodoeiro submetidas a esta dose ganharam peso com baixa desfolha. Assim, provavelmente baixas doses de Si podem proporcionar efeito nutricional

nas plantas, o que pode justificar a taxa de sobrevivência superior às demais doses, seguido da testemunha. As doses 2 e 5 t Si ha⁻¹ não difeririam das demais doses avaliadas e apresentaram notas intermediárias de injúria (3,71 e 2,43). Porém, a dose de 2 t ha⁻¹ proporcionou o maior peso larval, e para a dose de 5 t ha⁻¹, as lagartas não conseguiram converter o consumo foliar em ganho de peso. Portanto, de modo geral a aplicação de Si que mais interferiu negativamente no desempenho biológico de *C. includens* em algodoeiro foi na dose de 4 t ha⁻¹. Assim, esta dose foi mantida no experimento que avaliou os efeitos de indução de tolerância à herbivoria e os possíveis mecanismos envolvidos.

Experimento 2: Si na indução de tolerância de algodoeiro a *C. includens*

As concentrações de Si absorvidas pelas raízes e acumuladas na parte aéreas das plantas de algodão não diferiram entre plantas infestadas e não infestadas ($F=0,01$; $P=0,98$) por lagartas de *C. includens*. O efeito foi significativo apenas para a fertilização com Si ($F=13,91$; $P=0,0001$), de modo que as plantas fertilizadas obtiveram maior acúmulo foliar de Si, sendo quase 4x maior em relação às plantas não fertilizadas (Figura 4 A).

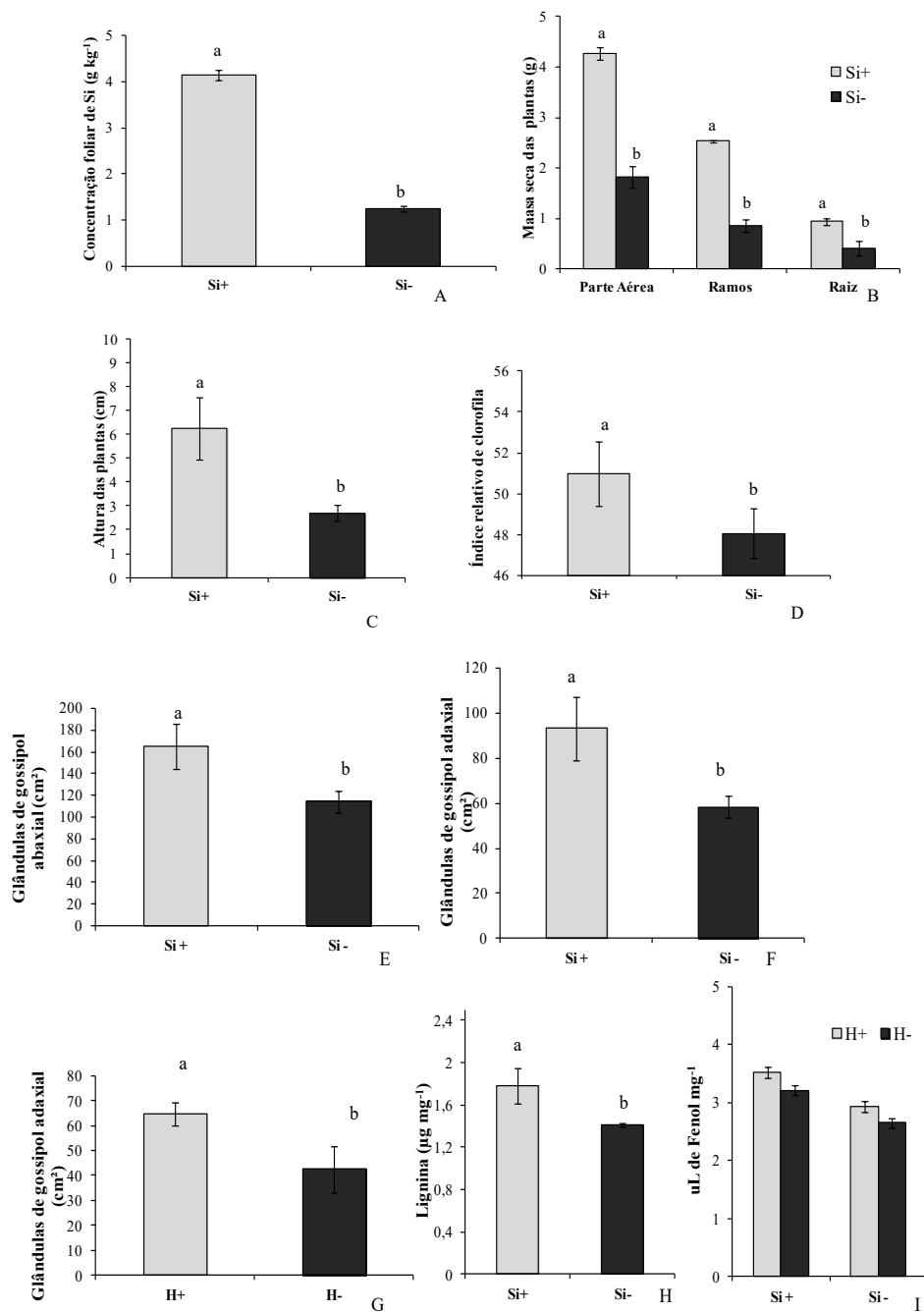
Para a altura e massa seca das plantas (folhas, ramos e raiz), ocorreu diferença significativa para o efeito da aplicação de Si, enquanto a herbivoria não afetou esses parâmetros de crescimento das plantas. Observou-se o dobro de matéria seca para folhas ($F=16,48$; $P=0,0000$) e raiz ($F=4,28$; $P=0,0384$), e o triplo para ramos ($F=9,35$; $P=0,0022$), (Figura 4B). Para a avaliação do crescimento das plantas (altura) em função da herbivoria de *C. includens* e da fertilização com Si, os resultados foram significativos para fertilização ($F=5,81$; $P=0,0158$) (Figura 4C).

O mesmo comportamento das plantas foi verificado para o índice relativo de clorofila ($F=4,18$; $P=0,0434$), para plantas fertilizadas com Si terem índices significativamente superior em relação às plantas não fertilizadas (Figura 6). Na análise de teor foliar de lignina, os resultados diferiram significativamente para o efeito da fertilização com Si ($F=5,37$; $P=0,0339$). Para os teores de fenóis totais ($P > 0,05$), os tratamentos foram similares entre si (Figura 7). Não foi observado efeito significativo da interação de Si x herbivoria no número de glândulas de gossipol por área foliar totais ($P > 0,05$), mas para os efeitos isolados foram estatisticamente significativos.

Plantas fertilizadas com Si e que sofreram herbivoria apresentaram significativamente maior número de glândulas de gossipol por área foliar. Na face abaxial das folhas ($F=9,40$; $P=0,0021$), o efeito foi significativo para a fertilização com Si com um aumento de 30,99% de glândulas de gossipol (Figura 8). Na face adaxial, os efeitos foram significativos tanto para a

fertilização, com aumento de 37,58% ($F= 8,99$; $P=0,0027$), quanto para herbivoria de 34,51 no número de glândulas de gossipol ($F= 5,19$; $P=0,0026$).

Figura 4 - Fertilização com Si e sua influência na tolerância de plantas, de algodão. Concentração foliar de Si (A), Massa seca das plantas (B), Altura de plantas (C), Índice relativo de clorofila (D), Glândulas de gossipol abaxial (E), Glândulas de gossipol adaxial + Si (F), Glândulas de gossipol adaxial + Herbivoria (G), Lignina (H), Fenol (I).



Fonte: Do autor (2023)

4 DISCUSSÃO

Neste estudo foram constatados efeitos negativos pela aplicação via solo de Si na sobrevivência e peso larval de *C. includens* nas fases vegetativa e reprodutiva de algodoeiro. Verificou-se que, apesar de ocorrer alimentação das lagartas, elas não converteram o consumo foliar em ganho de peso. Já foi reportado que a deposição de Si reforça a parede celular das folhas e aumenta a adaptação das plantas a estresses bióticos e promovem uma barreira mecânica que pode diminuir a injúria ocasionada pela herbivoria de insetos, ou mesmo afetar sua eficiência nutricional e digestiva, refletindo em menor crescimento e ganho de peso (BAKHAT et al., 2018). Altas concentrações de Si também podem interferir na assimilação de alguns nutrientes pelas plantas devido à substituição parcial de alguns compostos de C nas plantas, o que pode alterar a transpiração das plantas principalmente nitrogênio, além da absorção de água e outros metabólitos. Portanto, a disponibilidade de N na planta pode ser influenciada pelo Si, é possível que o Si aumente a absorção e a disponibilidade de P nas plantas, a partir da expressão de genes transportadores e de ácidos orgânicos que atuam na mobilização do nutriente (KOSTIC et al., 2017; KLOTZBÜCHER et al., 2018).

Trabalhos na literatura já demonstraram os efeitos de Si no crescimento de plantas de diversas espécies, especialmente gramíneas, e o aumento da resistência a insetos fitófagos. No entanto, apesar de haver estudos que reportaram incrementos no crescimento e produção de algodão, poucas informações estão disponíveis quanto à resistência ao ataque de pragas para essa cultura. (SILVA et al., 2014a) verificaram que a aplicação de ácido silícico a 1% na dose equivalente 3 t ha⁻¹ causou maior mortalidade de lagartas de *S. frugiperda* alimentadas com folhas da cv. BRS Cedro. No presente trabalho, resultados contrastantes foram encontrados, onde as plantas de algodão que receberam a dose de 3 t ha⁻¹ de Si promoveram aumento da sobrevivência, consumo foliar e peso das lagartas de *C. includens* na fase vegetativa do algodoeiro. Os diferentes resultados podem ter sido devido às distintas condições experimentais, cultivares de algodoeiro e espécies de insetos em ambos os estudos, uma vez que a fonte de Si utilizada foi a mesma.

Em trabalhos já realizados com aplicação via solo de Si quanto à resistência de plantas a insetos fitófagos, resultados similares aos obtidos neste trabalho foram observados por ABREU et al. (2021). Os autores avaliaram a aplicação do produto comercial AgriSil[®] (98% SiO₂) via solo e foliar em maracujazeiro e verificaram efeito fagoestimulante em lagartas de *Dione juno juno* alimentadas com folhas tratadas por pulverização foliar com a dose de 2 g L⁻¹ do produto.

Diversos são os resultados disponíveis sobre os efeitos benéficos da aplicação de formulações à base de Si no aumento da resistência de plantas a lagartas desfolhadoras. A aplicação do produto Agrosilício Plus[®] (10,5% total Si, 4,8% de Si solubilizado, 35% CaO, e 10% MgO) nas doses de 600 a 1.200 kg ha⁻¹ em condições de campo reduziu a desfolha sem afetar a produtividade de milho, aumentando a resistência ao ataque de *S. frugiperda* (PERDOMO et al., 2022). NAGARATNA et al., (2022) avaliaram o efeito de Si e reguladores de crescimento na biologia de *S. frugiperda*, correlacionando negativamente os parâmetros biológicos do inseto com o aumento da concentração de Si nas plantas de milho. O mesmo foi observado por (FREITAS; JUNQUEIRA; FILHO, 2012), que analisaram o efeito de doses (3, 6, 9 e 12 kg ha⁻¹) de Si na preferência alimentar de *Plutella xylostella* L. em repolho e observaram maior mortalidade larval com a dose de 12 kg ha⁻¹, de modo que a aplicação foliar interferiu na preferência alimentar e resultou no desgaste mandibular e mortalidade da praga devido à redução da alimentação.

Sabe-se que a deposição de Si na superfície foliar pode aumentar a dureza da folha e reduzir a ruptura celular, palatabilidade e digestão dos insetos, além de alterar a morfologia da superfície foliar das plantas tratadas, (HALL et al., 2020). Em um estudo com a cultura do tomate, a aplicação foliar de compostos com Si foi eficaz contra o ataque de lagartas da traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick), causando desprendimento das células do intestino médio da membrana basal do inseto, o que resultou na dificuldade de digestão e mortalidade larval, caracterizando um possível efeito tóxico desse elemento (DOS SANTOS et al., 2015). Estruturas vegetais com grande acúmulo de sílica (SiO₂), como é o caso dos tricomas tectores de plantas acumuladoras de Si, podem dilacerar o intestino médio de insetos por conta da maior rigidez dessas estruturas (ANDAMA et al., 2020).

Os efeitos de dose-resposta observados em geral com a fertilização de Si na resistência do algodoeiro a *C. includens* não seguiram uma tendência linear, como confirmado aqui para a sobrevivência larval, por exemplo, onde a curva de regressão se ajustou ao modelo quadrático. Alguns elicitores de defesa de plantas podem ocasionar efeitos horméticos, comportando-se como bioestimulantes em baixas doses, seguindo um modelo em zigue-zague. O fenômeno de hormese é um processo presente em todos os organismos e é caracterizado pela resposta bifásica da curva de dose-resposta de um determinado composto estressor, levando à uma resposta celular adaptativa ao estresse no organismo exposto, de modo que baixas doses causa efeito estimulatório, enquanto altas doses causa efeito tóxico (CALABRESE; BALDWIN, 2003; CALABRESE, 2009; GUEDES; CUTLER, 2014; GUEDES; RIX; CUTLER, 2022).

Os efeitos horméticos proporcionados por elicitores podem promover melhoria na qualidade nutricional e fisiológica devido à aclimação às condições ambientais, resultando em compensação ou supercompensação no crescimento das plantas, mas em doses mais altas podem causar efeitos deletérios (VARGAS-HERNANDEZ et al., 2017; MACIAS-BOBADILLA et al., 2020). Há indícios de que o Si possa causar efeitos horméticos em plantas. Abreu et al. (2022) observaram que a aplicação foliar de um produto comercial à base de Si (Agrisil[®], 98% SiO₂) proporcionou respostas não lineares nas atividades da enzima antioxidante peroxidase (POX) em maracujazeiro, de maneira que a curva de dose-resposta da POX e o desempenho biológico de *D. juno juno* assemelhou-se a uma curva bifásica característica de hormese. No presente estudo, outros efeitos sobrepostos à herbivoria também podem ter ocorrido, como por exemplo, redução dos estresses abióticos pela deposição de Si nas células vegetais, como transpiração, incidência de radiação, alta temperatura e déficit hídrico (MA; YAMAJI, 2006), e interação com nutrientes, melhorando o desempenho das plantas. Sugerem-se mais investigações para caracterizar a ocorrência de efeitos horméticos em função de doses de Si no crescimento de plantas e defesa a insetos.

Para o índice relativo de clorofila no experimento de resistência, na presença de Si foi constatado efeito mais ou menos linear com o aumento das doses na fase vegetativa das plantas. Efeitos benéficos do Si no teor de clorofila também foram observados por NASCIMENTO et al. (2018) ao testarem a aplicação de Si via solo e foliar em arroz. Os autores constataram que ambas as formas de aplicação de Si foram eficientes, aumentando o teor de clorofila, altura e massa seca das plantas, além de afetar negativamente o desenvolvimento de *S. frugiperda*.

As concentrações foliares de Si nas plantas de algodão fertilizadas foram duas vezes maiores que nas plantas que não receberam o elemento via solo. O aumento nas concentrações de Si em estruturas vegetais também já foi observado em diferentes trabalhos e culturas (GOUSSAIN et al., 2002; VILELA et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2018; NOGUEIRA et al., 2018; SOUZA JUNIOR et al., 2019; ABREU et al., 2021). O teor de Si nas plantas altera em média de 0,1% a 10% de massa seca da planta. A concentração de Si nas plantas as classifica como acumuladoras, intermediárias, e não acumuladoras de Si, sendo feita a partir das análises da relação molar Si:Ca encontrada nos tecidos. Em razões acima de 1,0 as plantas são consideradas acumuladoras; entre 0,5 e 1,0, intermediárias; e menor que 0,5, não acumuladoras (MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001). O algodão é classificado como planta intermediária quanto à absorção de Si, corroborando com os deste trabalho (HODSON et al., 2005).

Constatou-se que a fertilização com Si, e conseqüentemente o acúmulo do elemento nos tecidos do algodoeiro, aumentou consideravelmente a altura e biomassa das folhas, ramos e raízes, além do teor foliar de clorofila. Esses benefícios foram relacionados com o maior acúmulo de Si nas folhas nas plantas fertilizadas. No entanto, o efeito da fertilização foi isolado, não havendo interação significativa com a herbivoria de *C. includens*. O Si pode atenuar os efeitos do estresse oxidativo ao reduzir a degradação da clorofila, contribuindo para a eficiência fotossintética da planta e refletindo no seu crescimento, uma vez que a deposição de Si nas folhas torna as plantas mais eretas e rígidas, favorecendo a interceptação de luz (SOUZA JUNIOR et al., 2019; SANTOS et al., 2020). Esses mecanismos podem justificar os resultados de crescimento e massa seca das plantas de algodão no experimento de tolerância a *C. includens*. Pelo fato do Si promover aumento desses parâmetros de crescimento, o elemento pode estar relacionado com os mecanismos de compensação/tolerância das plantas a diversos estresses, o que o caracteriza também como um bioestimulante (DU JARDIN, 2015; SAVVAS; NTATSI, 2015; YAKHIN et al., 2017; VAN OOSTEN et al., 2017).

JOHNSON et al. (2019) observaram que plantas de trigo fertilizadas com Si sob herbivoria de *Helicoverpa armigera* (Hübner) obtiveram biomassa semelhante às plantas sem herbivoria, e isso ocorreu em função do crescimento compensatório das plantas atacadas sob fertilização, reportando pela primeira vez na literatura aumento de tolerância com a aplicação de Si. (ISLAM; MOORE; JOHNSON, 2022) ao trabalharem com a mesma praga em gramíneas, relataram os efeitos do Si no crescimento compensatório das plantas e produção de tricomas foliares. Portanto, há indícios de que a tolerância das plantas atacadas por insetos diminui o custo adaptativo da herbivoria, o que pode estimular o crescimento compensatório. Esses efeitos compensatórios de tolerância podem ocorrer pelo aumento da taxa fotossintética, manutenção da clorofila, realocação de recursos das raízes para os brotos e folhas novas. A tolerância envolve mudanças de alocação de recursos em função da resposta à injúria, portanto é considerada uma defesa induzida (KARBAN; MYERS, 1989). A resistência e a tolerância podem ser induzidas por estresses ocasionados à planta, o que pode determinar a modulação desses processos do sistema imune das plantas (BUSTOS-SEGURA; GONZÁLEZ-SALAS; BENREY, 2022).

Foi observado maior teor de lignina em algodoeiro fertilizado com Si, enquanto para fenóis totais os efeitos não foram significativos. A lignina é um composto polifenólico que participa do metabolismo secundário das plantas. Ao ser absorvido, o Si se acumula nos tecidos e polimeriza na forma de biominerais amorfos, denominados corpos de sílica ou fitólitos (sílica

amorfa, SiO₂) (ZHANG et al., 2013). O Si pode ser empregado na síntese estrutural da planta, com maior incorporação de lignina nos tecidos da parede celular ou permitir crescimento contínuo a um custo metabólico mais baixo quando a planta está sob estresse (JOHNSON et al., 2019; ETIENNE et al., 2021). As plantas interagem de diferentes maneiras com o Si na parede celular. Vários relatos sugerem que o organossilício na parede celular das plantas pode alterar sua biossíntese, funções e estrutura da parede celular, desempenhando distintas funções em famílias de plantas (SHENG; CHEN, 2020).

Para a cultura do algodão, BOYLSTON et al. (1990) descobriram que o ácido monossilícico pode interagir com unidades fenólicas de lignina, indicando que o Si desempenha uma ou mais funções na fase de desenvolvimento da fibra de algodão. O acúmulo de lignina nas folhas foi observado por ALCANTRA et al. (2019) ao avaliarem a resistência induzida ao pulgão-do-algodoeiro *Aphis gossypii* Glover em cultivares de algodão colorido com elicitores de resistência. Os autores concluíram que o Si não alterou os parâmetros biológicos dos afídeos, porém, a aplicação de acibenzolar-S-metil promoveu aumento no teor de lignina nas plantas, dados que corroboram os efeitos deste trabalho. Contudo, no que se refere ao teor de fenóis, eles verificaram que o Si proporcionou o aumento de fenóis nas cvs. BRS Verde e BRS Rubi quando comparadas com a cv. BRS Safira, que sugere que a resposta das interações mediadas pelo Si é dependente do genótipo das plantas, o que pode justificar o efeito não significativo para o teor de fenóis no presente trabalho que utilizou outra cultivar de algodão.

Outros trabalhos com algodoeiro também demonstraram que a pulverização foliar de Si na fase reprodutiva possuiu efeito equivalente ao do boro (B), e o uso da mistura B+Si melhorou a qualidade da fibra de algodão, aumentou sua resistência à tração e diminuiu o teor de fibras curtas (SOUZA JÚNIOR et al., 2022). A aplicação de silicato de sódio na cultura da soja elevou o teor de lignina conforme o aumento das doses testadas por promover maiores atividades de enzimas responsáveis pela sua síntese. Níveis mais altos de lignina nas hastes também melhoram a resistência mecânica e as tornam mais resistentes ao acamamento em condições de pouca luz (HUSSAIN et al., 2021). (ZHANG et al., 2013) verificaram em plantas de arroz que a aplicação de silicato de potássio aumentou a biomassa da parte aérea e raiz; além disso, as células de sílica na epiderme das folhas tornaram-se gradualmente mais lignificadas e silicificadas à medida que as folhas envelheceram.

No presente trabalho, a fertilização com Si promoveu aumento da densidade das glândulas de gossipol nas faces adaxial e abaxial das folhas. Adicionalmente, a herbivoria de *C. includens* estimulou o aumento da produção de glândulas em ambas às faces das folhas,

porém, sem interação entre Si e herbivoria, indicando que os efeitos foram independentes. O gossipol é um aldeído sesquiterpênico encontrado em plantas de algodão que conferem resistência a patógenas e insetos. As glândulas de gossipol caracterizam-se por pequenos pontos de coloração escura em raízes, caule, hastes e sementes de algodão (PENNA, 2005). O gossipol atua como os inibidores de proteinases, os quais são considerados antimetabólicos por interferirem no processo de degradação de proteínas em aminoácidos no intestino médio dos insetos. Assim, esses compostos promovem deficiência proteica, prejudicando seu crescimento, desenvolvimento e reprodução (SILVA FILHO; FALCO, 2000).

Segundo Frankfater; Dowd; Triplett, (2009b), a produção de gossipol em plantas de algodão é dependente da espécie, variedade e tipo do tecido vegetal. Os autores relataram que o elicitor jasmonato de metila (MeJA), derivado do fitormônio ácido jasmônico, aumentou em oito vezes o nível de gossipol nas plantas, o dobro dos níveis mais altos de gossipol e seus metilados relatados anteriormente para qualquer tecido do algodoeiro; esses efeitos não foram verificados com ácido salicílico, que também foi avaliado. Sabe-se que o MeJA regula a transcrição do gene delta-cadineno sintase A, que codifica a primeira enzima na via biossintética do gossipol (MAO et al., 2006).

Alterações na parede celular mediadas pela absorção do Si podem ser sinalizadas como um estímulo de estresse, ativando a síntese de ácido jasmônico, como demonstrado por Ye et al. (2013). Esse fitormônio é responsável pela defesa direta das plantas por estimular a produção de compostos secundários tóxicos ou deterrentes aos insetos herbívoros, e pode participar na defesa indireta das plantas, que inclui a maior liberação de compostos voláteis de induzidos por herbivoria. (SOUSA et al., 2022) verificaram que as concentrações de peróxido de oxigênio (H_2O_2) foram maiores quando o Si foi aplicado em plantas de milho na ausência da herbivoria por *S. frugiperda*. H_2O_2 é produzido em condições de estresse, e dependendo das concentrações pode atuar como um mensageiro químico e ativar os genes de defesa das plantas, bem como prepará-la para estresse futuros, fenômeno conhecido como preparação/ativação (=priming) das defesas.

Pelos resultados encontrados neste trabalho, é hipotetizado que a aplicação de Si em plantas de algodão ativou as vias de sinalização e estimulou a produção de compostos secundários como terpenos, quantificados aqui pelo número de glândulas de gossipol nas folhas, funcionando como um elicitor de resistência. O mesmo foi observado por (DE OLIVEIRA et al., 2020). Além da fertilização, para as plantas submetidas à herbivoria de *C. includens*, a produção de glândulas de gossipol na face adaxial foi significativa. A injúria

ocasionada por insetos resulta em estímulos de estresse nas plantas, bem como a presença de elicitores presentes na sua saliva ou regurgito podem ativar vias de defesas que proporcionam alterações morfológicas e fisiológicas das plantas (DIXON; HARRISON; LAMB, 1994; REYNOLDS; KEEPING; MEYER, 2009; ALHOUSARI; GREGER, 2018; MIR et al., 2022).

5 CONCLUSÃO

A aplicação de Si em algodoeiro demonstrou pela primeira vez na literatura para essa cultura que o mineral atua como um elicitador de resistência das plantas a insetos, afetando negativamente o desempenho biológico da lagarta-falsa-medideira *C. includens*. Apesar de não ter sido verificado aumento na tolerância das plantas sob ataque de *C. includens* com a fertilização de Si, o maior acúmulo de Si causou bioestímulo no crescimento, biomassa, teores de clorofila e gossipol das plantas de algodão, demonstrando que o mineral atua como bioestimulante. Essas novas informações podem ser aplicadas em estratégias de manejo integrado de pragas na produção do algodoeiro, de modo que o Si pode atuar como um eficiente elicitador de resistência a lagartas e melhorar o crescimento das plantas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, R. A. A.; ASSIS, F. A.; SOUZA, B. H. S.; NASCIMENTO, A. M.; LATINI, A. O.; PIO, L. A. S. Effects of silicon application on the biochemistry of passion fruit and performance of *Dione juno juno* (Lepidoptera: Nymphalidae). **Arthropod-Plant Interactions**, v. 15, n. 3, p. 417–429, 7 jun. 2021. doi: 10.1007/s11829-021-09827-3.
- ACEVEDO, F. E.; PEIFFER, M.; RAY, S.; TAN, C.-W.; FELTON, G. W. Silicon-Mediated Enhancement of Herbivore Resistance in Agricultural Crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 11 fev. 2021. doi: 10.3389/fpls.2021.631824.
- ACHALEKE, J.; BRÉVAULT, T. Inheritance and stability of pyrethroid resistance in the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Central Africa. **Pest Management Science**, p. n/a-n/a, 2009. doi: 10.1002/ps.1843.
- AHMAD, S.; CHEEMA, H. M. N.; KHAN, A. A.; KHAN, R. S. A.; AHMAD, J. N. Resistance status of *Helicoverpa armigera* against Bt cotton in Pakistan. **Transgenic Research**, v. 28, n. 2, p. 199–212, 21 abr. 2019. doi: 10.1007/s11248-019-00114-9.
- ALCANTRA, E.; CAMPOS MORAES, J.; AUAD, A. M.; SILVA, A. A.; ALVARENGA, R. Resistência induzida ao pulgão-do-algodoeiro em cultivares de algodão colorido Induced resistance to aphid cotton on colored cotton cultivars. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 483–491, 2019. doi: 10.19084/rca.17183.
- ALFORD, R. A.; HAMMOND, A. M. Plusiinae (Lepidoptera: Noctuidae) Populations in Louisiana Soybean Ecosystems as Determined with Looplure-Baited Traps. **Journal of Economic Entomology**, v. 75, n. 4, p. 647–650, 1 ago. 1982. doi: 10.1093/jee/75.4.647.
- ALHOUSARI, F.; GREGER, M. Silicon and Mechanisms of Plant Resistance to Insect Pests. **Plants**, v. 7, n. 2, p. 33, 13 abr. 2018. doi: 10.3390/plants7020033.
- ALI, A.; CHOUDHURY; AFROZA; RUMMANA; AHMAD; ZUBAIR; RAHMAN; KHAN, F.; RAHMAN, F.; AHMAD, S. K. Some Biological Characteristics of *Helicoverpa armigera* on Chickpea. **Tunisian Journal of Plant Protection**, v. 99, n. 1, 2009.
- ALVARES, C. A. ; S. J. L. ; S. P. C. ; G. J. L. M. ; S. G. Köppen's climate classification map for Brazil. Em: **Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart**. 6. ed. [s.l: s.n.]22 p. 711–728. 2013.
- AMPA-ASSOCIAÇÃO MATO-GROSSENSE DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. HISTÓRIA DO; ALGODÃO. **História do Algodão**.
- ANDAMA, J. B.; MUJIONO, K.; HOJO, Y.; SHINYA, T.; GALIS, I. Nonglandular silicified trichomes are essential for rice defense against chewing herbivores. **Plant, Cell & Environment**, v. 43, n. 9, p. 2019–2032, 6 set. 2020. doi: 10.1111/pce.13775.
- ANDRADE, K.; BUENO, A. de F.; DA SILVA, D. M.; STECCA, C. dos S.; PASINI, A.; DE OLIVEIRA, M. C. N. Bioecological characteristics of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different hosts. **Austral Entomology**, v. 55, n. 4, p. 449–454, nov. 2016. doi: 10.1111/aen.12208.

ARAÚJO, L.; PINTO, F. A. M. F.; LACONSKI, J. M. O.; NOGUEIRA, P. H. da S.; DOS SANTOS PADILHA, G.; EBERHARDT, P. E. R. Formulações de fosfitos para o controle de cancro europeu da macieira. **Agropecuária Catarinense**, v. 35, n. 2, p. 37–43, 31 ago. 2022. doi: 10.52945/rac.v35i2.1457.

ARAÚJO, L.; VALDEBENITO-SANHUEZA, R. M.; STADNIK, M. J. Avaliação de formulações de fosfito de potássio sobre *Colletotrichum gloeosporioides* in vitro e no controle pós-infeccional da mancha foliar de Glomerella em macieira. **Trans/Form/Ação**, v. 35, n. 1, fev. 2010. doi: 10.1590/S1982-56762010000100010.

ÁVILA CRÉBIO JOSÉ; VITAL, T. G. Ocorrência, aspectos biológicos, danos e estratégias de manejo de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) nos sistemas de produção agrícolas. **Circular técnico Embrapa**, n. ISSN 1517-4557, p. 1–12, 2013.

BAKHAT, H. F.; BIBI, N.; ZIA, Z.; ABBAS, S.; HAMMAD, H. M.; FAHAD, S.; ASHRAF, M. R.; SHAH, G. M.; RABBANI, F.; SAEED, S. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. **Crop Protection**, v. 104, p. 21–34, fev. 2018. doi: 10.1016/j.cropro.2017.10.008.

BALDIN, E. L. L.; BENTIVENHA, J. P. F. Fatores que afetam a expressão da resistência. Em: BALDIN, E. L. L.; VENDRAMIM, J. D.; LOURENÇÃO, A. L. (Ed.). **Resistência de plantas 589 a insetos- Fundamentos e Aplicações**. [s.l: s.n.] p. 323–356. 2019.

BALDIN, E. L. L.; LOURENÇÃO, A. L.; SCHLICK-SOUZA, E. C. Outbreaks of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) in common bean and castor bean in São Paulo State, Brazil. **Bragantia**, v. 73, n. 4, p. 458–465, 28 out. 2014. doi: 10.1590/1678-4499.0277.

BEDIN, E.; CAVERZAN, A.; SILVEIRA, D. C.; CHAVARRIA, G. Foliar fortification of Copper (Cu) in *Glycine max* L. for the protection against Asian Soybean Rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P.Syd.). **Plant Science Today**, v. 7, n. 4, 1 out. 2020. doi: 10.14719/pst.2020.7.4.737.

BELTRÃO, N. E. M. ;; SOUZA, J. G. de. Fisiologia e ecofisiologia do algodoeiro. Em: **In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Algodão: tecnologia de produção**. [s.l: s.n.] p. 54–75. 2011.

BERNARDI, O.; MALVESTITI, G. S.; DOURADO, P. M.; OLIVEIRA, W. S.; MARTINELLI, S.; BERGER, G. U.; HEAD, G. P.; OMOTO, C. Assessment of the high-dose concept and level of control provided by MON 87701 × MON 89788 soybean against *Anticarsia gemmatilis* and *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Pest Management Science**, v. 68, n. 7, p. 1083–1091, jul. 2012a. doi: 10.1002/ps.3271.

BERNARDI, O.; MALVESTITI, G. S.; DOURADO, P. M.; OLIVEIRA, W. S.; MARTINELLI, S.; BERGER, G. U.; HEAD, G. P.; OMOTO, C. Assessment of the high-dose concept and level of control provided by MON 87701 × MON 89788 soybean against *Anticarsia gemmatilis* and *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Pest Management Science**, v. 68, n. 7, p. 1083–1091, jul. 2012b. doi: 10.1002/ps.3271.

BLENAU, W.; RADEMACHER, E.; BAUMANN, A. Plant essential oils and formamidines as insecticides/acaricides: what are the molecular targets? **Apidologie**, v. 43, n. 3, p. 334–347, 17 maio 2012. doi: 10.1007/s13592-011-0108-7.

BOBROWSKI, V. L.; FIUZA, L. M.; PASQUAL, G.; ZANETTINI, M. H. B. Genes de *Bacillus thuringiensis*: uma estratégia para conferir resistência a insetos em plantas. **Ciência Rural**, v. 34, n. ISSN 0103-8478, p. 843–850, 2003.

BOIÇA JÚNIOR, A.; FREITAS, M.; FREITAS, C.; DI BELLO, M.; ULHOA LA, P.; PASCUTTI, T.; SOUZA, Bhs. Respostas induzidas de defesa das plantas e implicações no manejo integrado de pragas. Em: RC, : : CASTILHO; BARILLI DR, T. C. (Ed.). **Tópicos em Entomologia Agrícola - x**. Gráfica Mu ed. [s.l: s.n.] p. 97–122. 2019.

BOLLER, T.; FELIX, G. A Renaissance of Elicitors: Perception of Microbe-Associated Molecular Patterns and Danger Signals by Pattern-Recognition Receptors. **Annual Review of Plant Biology**, v. 60, n. 1, p. 379–406, 1 jun. 2009. doi: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105346.

BONALDO, S. M.; PASCHOLATI, S. F.; ROMEIRO, R. S. Indução de resistência: noções básicas e perspectivas. Em: **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. [s.l: s.n.]2005.

BOREGAS, K. G. B.; MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; WILSON, G.; FERNANDES. Estádio de adaptação de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em hospedeiros alternativos. **Bragantia**, v. 72, p. 61–70, 2013.

BOYLSTON, E. K.; HEBERT, J. J.; HENSARLING, T. P.; BRADOW, J. M.; THIBODEAUX, D. P. Role of silicon in developing cotton fibers. **Journal of Plant Nutrition**, v. 13, n. 1, p. 131–148, jan. 1990a. doi: 10.1080/01904169009364063.

BOYLSTON, E. K.; HEBERT, J. J.; HENSARLING, T. P.; BRADOW, J. M.; THIBODEAUX, D. P. Role of silicon in developing cotton fibers. **Journal of Plant Nutrition**, v. 13, n. 1, p. 131–148, 1 jan. 1990b. doi: 10.1080/01904169009364063.

BRAVO, A.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. **Toxicon**, v. 49, n. 4, p. 423–435, mar. 2007. doi: 10.1016/j.toxicon.2006.11.022.

BRAVO, A.; LIKITVIVATANAVONG, S.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 41, n. 7, p. 423–431, jul. 2011a. doi: 10.1016/j.ibmb.2011.02.006.

BRAVO, A.; LIKITVIVATANAVONG, S.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 41, n. 7, p. 423–431, jul. 2011b. doi: 10.1016/j.ibmb.2011.02.006.

BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. Cadeia Produtiva do Algodão. **Serie Agronegócios**, v. 4, p. 237–256, 2007.

BUSOLI, A. C.; GROGOLLI, J. F. J.; FRAGA, D. F.; SOUZA, L. A.; FUNICHELLO, M.; NAIS, J.; SILVA, E. A. Atualidades no MIP algodão no cerrado brasileiro. Em: **In: Tópicos em Entomologia Agrícola IV**. [s.l: s.n.] p. 117–138. 2011.

BUSS, N.; RESTELATTO, S. S.; CONTINI, R. E.; BUENO, A. de F.; BERNARDI, O.; BOFF, M. I. C.; FRANCO, C. R. Comparative susceptibility of *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Erebididae) and *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) to insecticides. **Ciência Rural**, v. 52, n. 8, 2022. doi: 10.1590/0103-8478cr20210047.

BUSTOS-SEGURA, C.; GONZÁLEZ-SALAS, R.; BENREY, B. Early damage enhances compensatory responses to herbivory in wild lima bean. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 29 nov. 2022. doi: 10.3389/fpls.2022.1037047.

CALABRESE, E. J. Hormesis: A Conversation with a Critic. **Environmental Health Perspectives**, v. 117, n. 9, p. 1339–1343, set. 2009. doi: 10.1289/ehp.0901002.

CALABRESE, E. J.; BALDWIN, L. A. Hormesis: The Dose-Response Revolution. **Annual Review of Pharmacology and Toxicology**, v. 43, n. 1, p. 175–197, abr. 2003. doi: 10.1146/annurev.pharmtox.43.100901.140223.

CAMARGO, L. C. M. DE; GARCIA, D. D. B.; SAAB, O. J. G. A.; PASINI, A.; SARTI, D. A.; DIAS, C. T. D. S. INSECTICIDE APPLICATION SPEED IN THE CONTROL OF LEPIDOPTERAN PESTS IN SOYBEAN1. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 72–80, mar. 2020. doi: 10.1590/1983-21252020v33n108rc.

CARVALHO. **Manual do algodoeiro**. AMPA-ASSOCIAÇÃO MATO-GROSSENSE DOS 250 PRODUTORES DE ALGODÃO, 2012

CASTIGLIONI, E.; PERINI CLÉRISON, R.; CHIARAVALLE, W.; ARNEMANN JONAS, A.; UGALDE, G.; GUEDES JERSON, V. Primer registro de ocorrência de *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera: Noctuidae) en soja, en Uruguay. **Agrociencia Uruguay**, v. 20, n. 1, p. 31–35, 2016. doi: 10.2477/vol20iss1pp31-35.

CAVALCANTI, A. M.; DOS SANTOS, G. F. A indústria têxtil no BRASIL: uma análise da importância da competitividade frente ao contexto mundial. **Exacta**, v. 20, n. 3, p. 706–726, 30 jun. 2022. doi: 10.5585/exactaep.2021.17784.

CHEN, Y. H.; GOLS, R.; BENREY, B. Crop Domestication and Its Impact on Naturally Selected Trophic Interactions. **Annual Review of Entomology**, v. 60, n. 1, p. 35–58, 7 jan. 2015. doi: 10.1146/annurev-ento-010814-020601.

CONAB. Perspectiva para a agropecuária 2018/2019. p. 1–140, 2018.

CORRÊA, J. R. V. **Algodoeiro: informações básicas para seu cultivo**. 1989.

COSTA, B. H. G.; DE RESENDE, M. L. V.; MONTEIRO, A. C. A.; RIBEIRO JÚNIOR, P. M.; BOTELHO, D. M. dos S.; SILVA, B. M. da. Potassium phosphites in the protection of common bean plants against anthracnose and biochemical defence responses. **Journal of Phytopathology**, v. 166, n. 2, p. 95–102, fev. 2018. doi: 10.1111/jph.12665.

COSTA, J. N.; C., A. F. A.; SANTANA, J. C. F.; COSTA, I. L. L.; WANDERELY, M. J. R.; SANTANA, J. C. S. Técnicas de colheita, processamento e armazenamento do algodão. p. 14, 2005.

CRICKMORE, N.; BERRY, C.; PANNEERSELVAM, S.; MISHRA, R.; CONNOR, T. R.; BONNING, B. C. A structure-based nomenclature for *Bacillus thuringiensis* and other bacteria-derived pesticidal proteins. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 186, p. 107438, nov. 2021. doi: 10.1016/j.jip.2020.107438.

CRUZ, M. F. A. da; RODRIGUES, F. Á.; POLANCO, L. R.; CURVÊLO, C. R. da S.; NASCIMENTO, K. J. T.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Inducers of resistance and silicon on the activity of defense enzymes in the soybean-*Phakopsora pachyrhizi* interaction. **Bragantia**, v. 72, n. 2, p. 162–172, 29 jul. 2013. doi: 10.1590/S0006-87052013005000025.

CTNBIO. **Plantas Geneticamente Modificadas aprovadas para Comercialização**. 2019.

CUONG, T. X.; ULLAH, H.; DATTA, A.; HANH, T. C. Effects of Silicon-Based Fertilizer on Growth, Yield and Nutrient Uptake of Rice in Tropical Zone of Vietnam. **Rice Science**, v. 24, n. 5, p. 283–290, set. 2017. doi: 10.1016/j.rsci.2017.06.002.

CZEPAK, C.; ALBERNAZ, K. C.; VIVAN, L. M.; GUIMARÃES, H. O.; CARVALHAIS, T. Primeiro registro de ocorrência de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 1, p. 110–113, 2013. doi: 10.1590/S1983-40632013000100015.

DA SILVA JUNIOR, M. B.; DE RESENDE, M. L. V.; POZZA, E. A.; RESENDE, A. R.; VASCONCELOS, V. A. M.; MONTEIRO, A. C. A.; SILVEIRA, G. C. D.; DOS SANTOS BOTELHO, D. M. Phosphites for the management of anthracnose in soybean pods. **Journal of Plant Pathology**, v. 103, n. 2, p. 611–617, 1 maio 2021. doi: 10.1007/s42161-021-00747-y.

DALIO, R. J. D.; RIBEIRO JUNIOR, P. M.; RESENDE, M. L. V.; SILVA, A. C. ; BLUMER, S.; PEREIRA, V. F. ; OSWALD, W.; PASCHOLATI, S. F. P. . . O triplo modo de ação dos fosfitos em plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 20, p. 206–243, 2012.

DE FREITAS BUENO, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R. The Old World Bollworm in the Neotropical Region: The Experience of Brazilian Growers with <I>Helicoverpa Armigera</I>; **Outlooks on Pest Management**, v. 25, n. 4, p. 261–264, 1 ago. 2014. doi: 10.1564/v25_aug_04.

DE FREITAS BUENO, R. C. O.; DE FREITAS BUENO, A.; MOSCARDI, F.; POSTALI PARRA, J. R.; HOFFMANN-CAMPO, C. B. Lepidopteran larva consumption of soybean foliage: basis for developing multiple-species economic thresholds for pest management decisions. **Pest Management Science**, v. 67, n. 2, p. 170–174, fev. 2011. doi: 10.1002/ps.2047.

DE FREITAS, M. M.; DE SOUZA, B. H. S.; NOGUEIRA, L.; DI BELLO, M. M.; BOIÇA JÚNIOR, A. L. Soybean defense induction to *Spodoptera cosmioides* herbivory is dependent

on plant genotype and leaf position. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 12, n. 1, p. 85–96, 4 fev. 2017. doi: 10.1007/s11829-017-9556-y.

DE OLIVEIRA, R. S.; PEÑAFLORES, M. F. G. V.; GONÇALVES, F. G.; SAMPAIO, M. V.; KORNDÖRFER, A. P.; SILVA, W. D.; BENTO, J. M. S. Silicon-induced changes in plant volatiles reduce attractiveness of wheat to the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* and attract the parasitoid *Lysiphlebus testaceipes*. **PLOS ONE**, v. 15, n. 4, p. e0231005, 3 abr. 2020. doi: 10.1371/journal.pone.0231005.

DE SOUZA JÚNIOR, J. P.; DE MELLO PRADO, R.; FERREIRA DINIZ, J.; DE FARIAS GUEDES, V. H.; DA SILVA, J. L. F.; ROQUE, C. G.; DE CÁSSIA FELIX ALVAREZ, R. Foliar Application of Innovative Sources of Silicon in Soybean, Cotton, and Maize. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, n. 3, p. 3200–3211, 1 set. 2022. doi: 10.1007/s42729-022-00878-w.

DE SOUZA JUNIOR, J. P.; DE MELLO PRADO, R.; SOARES, M. B.; DA SILVA, J. L. F.; DE FARIAS GUEDES, V. H.; DOS SANTOS SARAH, M. M.; CAZETTA, J. O. Effect of Different Foliar Silicon Sources on Cotton Plants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 1, p. 95–103, 2 mar. 2021. doi: 10.1007/s42729-020-00345-4.

DE SOUZA JUNIOR, P.; DE MELLO PRADO, J.; MACHADO DOS SANTOS SARAH, R. M.; FELISBERTO, G. Silicon mitigates boron deficiency and toxicity in cotton cultivated in nutrient solution. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 182, n. 5, p. 805–814, 9 out. 2019. doi: 10.1002/jpln.201800398.

DIXON, R. A.; HARRISON, M. J.; LAMB, C. J. EARLY EVENTS IN THE ACTIVATION OF PLANT DEFENSE RESPONSES. **Annual Review of Phytopathology**, v. 32, n. 1, p. 479–501, set. 1994. doi: 10.1146/annurev.py.32.090194.002403.

DJIHINTO, A. C.; KATARY, A.; PRUDENT, P.; VASSAL, J.-M.; VAISSAYRE, M. Variation in Resistance to Pyrethroids in *Helicoverpa armigera* From Benin Republic, West Africa. **Journal of Economic Entomology**, v. 102, n. 5, p. 1928–1934, 1 out. 2009. doi: 10.1603/029.102.0525.

DOS SANTOS, M. . C.; JUNQUEIRA, A. R.; SÁ, V. M. de; ZANÚNCIO; SERRÃO, J. No Title. **ISJ-Invertebrate Survival Journal**, v. 12 n° 1, n. ISSN 1824-307X, p. 158–165, 2015. DOSTER, M. A. Quantification of Lignin Formation in Almond Bark in Response to Wounding and Infection by *Phytophthora* Species. **Phytopathology**, v. 78, n. 4, p. 473, 1988. doi: 10.1094/Phyto-78-473.

EPSTEIN, E. SILICON. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, n. 1, p. 641–664, jun. 1999. doi: 10.1146/annurev.arplant.50.1.641.

ETIENNE, P.; TROUVERIE, J.; HADDAD, C.; ARKOUN, M.; YVIN, J.-C.; CAÏUS, J.; BRUNAUD, V.; LAÏNÉ, P. Root Silicon Treatment Modulates the Shoot Transcriptome in *Brassica napus* L. and in Particular Upregulates Genes Related to Ribosomes and Photosynthesis. **Silicon**, v. 13, n. 11, p. 4047–4055, 19 nov. 2021. doi: 10.1007/s12633-020-00710-z.

FICHHOF, W. H.; SILVA, R. de A.; OLIVEIRA, L. S. de; SILVA, R. M. da. Management of Biostimulant and Silicon in Mineral Nutrition and Quality of Cotton Fiber. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 10, p. 476, 15 set. 2018. doi: 10.5539/jas.v10n10p476.

FRANKFATER, C. R.; DOWD, M. K.; TRIPLETT, B. A. Effect of elicitors on the production of gossypol and methylated gossypol in cotton hairy roots. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 98, n. 3, p. 341–349, 2009a. doi: 10.1007/s11240-009-9568-0.

FRANKFATER, C. R.; DOWD, M. K.; TRIPLETT, B. A. Effect of elicitors on the production of gossypol and methylated gossypol in cotton hairy roots. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 98, n. 3, p. 341–349, 28 set. 2009b. doi: 10.1007/s11240-009-9568-0.

FREITAS, L. M. DE; JUNQUEIRA, A. M. R.; FILHO, M. M. Potencial de uso do silício no manejo integrado da traça- das- crucífera , *Plutella xylostella* , em plantas de repolho. v. 25, p. 8–13, 2012.

FUNICHELLO, M.; FRAGA, D. F.; PRADO, E. P.; AGUIRRE-GIL, O. J.; BUSOLI, A. C. Vertical distribution of *Crysoideixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) in transgenic and conventional cotton cultivars. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 150–153, 2019. doi: 10.5965/223811711812019150.

GALLO, D. ; NAKANO, O. ; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L. ; DE BAPTISTA, G. C.; BERTI FILHO, E. ; PARRA, J. R. P. ; ZUCCHI, R. A. ; ALVES, S. B. ; VENDRAMIN, J. D.; MARCHINI, L. C. ; LOPES, J. R. S. ;; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. [s.l: s.n.]

GOATER, B.; RONKAY, L.; FIBIGER, M. Catocalinae & Plusiinae, Noctuidae Europeae. **Entomological Press**, v. 10, p. 452, 2003.

GÓMEZ-MERINO, F. C.; TREJO-TÉLLEZ, L. I. Biostimulant activity of phosphite in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 82–90, nov. 2015. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.035.

GONÇALVES, R. D. S.; BITENCOURT, M. B.; REZENDE, L. B. Análise de competitividade da cotonocultura na região do triângulo mineiro /MG – aplicação da matriz de análise de política. Em: Sistemas Agroalimentares e Cadeias Agroindustriais, DORES DO

INDAÍÁ - MG - BRASIL. **Anais...** DORES DO INDAÍÁ - MG - BRASIL: 2006.

GORDY, J. W.; LEONARD, B. R.; BLOUIN, D.; DAVIS, J. A.; STOUT, M. J. Comparative Effectiveness of Potential Elicitors of Plant Resistance against *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in Four Crop Plants. **PLOS ONE**, v. 10, n. 9, p. e0136689, 2 set. 2015. doi: 10.1371/journal.pone.0136689.

GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSIB, M. L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 2, p. 305–310, 2002. doi: 10.1590/s1519-566x2002000200019.

GREENE, G. L.; LEPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean Caterpillar: A Rearing Procedure and Artificial Medium¹²³. **Journal of Economic Entomology**, v. 69, n. 4, p. 487–488, 1 ago. 1976. doi: 10.1093/jee/69.4.487.

GUEDES, R. N. C.; CUTLER, G. C. Insecticide-induced hormesis and arthropod pest management. **Pest Management Science**, v. 70, n. 5, p. 690–697, maio 2014. doi: 10.1002/ps.3669.

GUEDES, R. N. C.; RIX, R. R.; CUTLER, G. C. Pesticide-induced hormesis in arthropods: Towards biological systems. **Current Opinion in Toxicology**, v. 29, p. 43–50, mar. 2022. doi: 10.1016/j.cotox.2022.02.001.

GUPTA, N.; DEBNATH, S.; SHARMA, S.; SHARMA, P.; PUROHIT, J. Role of Nutrients in Controlling the Plant Diseases in Sustainable Agriculture. Em: **Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture**. Singapore: Springer Singapore, 2017. p. 217–262. 2017.

HALL, C. R.; DAGG, V.; WATERMAN, J. M.; JOHNSON, S. N. Silicon Alters Leaf Surface Morphology and Suppresses Insect Herbivory in a Model Grass Species. **Plants**, v. 9, n. 5, p. 643, 19 maio 2020. doi: 10.3390/plants9050643.

HETTWER, B. L.; GODOY, D. N.; HANICH, M. R.; CAYE, M.; MOREIRA, R. P.; LUCHESE, E. F.; ZANELLA, R.; BERNARDI, O.; MELO, A. A. Influence of adjuvants added to teflubenzuron spray on resistant and susceptible strains of the soybean looper *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae). **Ciência Rural**, v. 53, n. 2, 2023. doi: 10.1590/0103-8478cr20210710.

HIROSSE, E. H.; CRESTE, J. E.; CUSTÓDIO, C. C.; MACHADO-NETO, N. B. In vitro growth of sweet potato fed with potassium phosphite. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, n. 1, 29 nov. 2012. doi: 10.4025/actasciagron.v34i1.10810.

HODSON, M. J.; WHITE, P. J.; MEAD, A.; BROADLEY, M. R. Phylogenetic Variation in the Silicon Composition of Plants. **Annals of Botany**, v. 96, n. 6, p. 1027–1046, 1 nov. 2005a. doi: 10.1093/aob/mci255.

HODSON, M. J.; WHITE, P. J.; MEAD, A.; BROADLEY, M. R. Phylogenetic Variation in the Silicon Composition of Plants. **Annals of Botany**, v. 96, n. 6, p. 1027–1046, 1 nov. 2005b. doi: 10.1093/aob/mci255.

HORIKOSHI, R. J.; DOURADO, P. M.; BERGER, G. U.; DE S. FERNANDES, D.; OMOTO, C.; WILLSE, A.; MARTINELLI, S.; HEAD, G. P.; CORRÊA, A. S. Large-scale assessment of lepidopteran soybean pests and efficacy of Cry1Ac soybean in Brazil. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 15956, 5 ago. 2021. doi: 10.1038/s41598-021-95483-9.

HUSSAIN, S.; SHUXIAN, L.; MUMTAZ, M.; SHAFIQ, I.; IQBAL, N.; BRESTIC, M.; SHOAI, M.; SISI, Q.; LI, W.; MEI, X.; BING, C.; ZIVCAK, M.; RASTOGI, A.; SKALICKY, M.; HEJNAK, V.; WEIGUO, L.; WENYU, Y. Foliar application of silicon improves stem strength under low light stress by regulating lignin biosynthesis genes in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Journal of Hazardous Materials**, v. 401, 5 jan. 2021. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123256.

INOCÊNCIO, M. F.; RESENDE, Á. V. de; NETO, A. E. F.; VELOSO, M. P.; FERRAZ, F. M.; HICKMANN, C. Resposta da soja à adubação com zinco em solo com teores acima do nível crítico. **Pesq. agropec. bras.**, v. 47, p. 1550–1554, 2012.

ISLAM, T.; MOORE, B. D.; JOHNSON, S. N. Silicon fertilisation affects morphological and immune defences of an insect pest and enhances plant compensatory growth. **Journal of Pest Science**, 13 jan. 2022. doi: 10.1007/s10340-022-01478-4.

JENSEN, R. L.; NEWSOM, L. D.; GIBBENS, J. The Soybean Looper: Effects of Adult Nutrition on Oviposition, Mating Frequency, and Longevity. **Journal of Economic Entomology**, v. 67, n. 4, p. 467–470, 1 ago. 1974. doi: 10.1093/jee/67.4.467.

JOHNSON, S. N.; REYNOLDS, O. L.; GURR, G. M.; ESVELD, J. L.; MOORE, B. D.; TORY, G. J.; GHERLEND, A. N. When resistance is futile, tolerate instead: silicon promotes plant compensatory growth when attacked by above- and belowground herbivores. **Biology Letters**, v. 15, n. 7, p. 20190361, 31 jul. 2019. doi: 10.1098/rsbl.2019.0361.
KARBAN, R.; MYERS, J. H. Induced Plant Responses to Herbivory. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 20, n. 1, p. 331–348, nov. 1989. doi: 10.1146/annurev.es.20.110189.001555.

KLOTZBÜCHER, T.; KLOTZBÜCHER, A.; KAISER, K.; VETTERLEIN, D.; JAHN, R.; MIKUTTA, R. Variable silicon accumulation in plants affects terrestrial carbon cycling by controlling lignin synthesis. **Global Change Biology**, v. 24, n. 1, p. e183–e189, jan. 2018. doi: 10.1111/gcb.13845.

KODAMA, C.; DEGRANDE, P. E.; DE SOUZA, E. P.; MELO, E. P. Impacto da Desfolha Artificial no Desenvolvimento, Produtividade e Qualidade de Fibra do Algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) Convencional e Adensado. **Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 25, n. 5- esp, p. 714–723, 14 mar. 2022. doi: 10.17921/1415-6938.2021v25n5-esp714-723.

KORNDÖRFER, G. H. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante.** [s.l: s.n.].

KORNDÖRFER, G. H. ; D. Uso de Silício na Agricultura. **Informações Agronômicas**, p. 9–11, 2007.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. ; CAMARGO, M. S. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. **GPSi-ICIAG-UFU. 3. ed**, p. 23, 2004.

KORTBEEK, R. W. J.; VAN DER GRAGT, M.; BLEEKER, P. M. Endogenous plant metabolites against insects. **European Journal of Plant Pathology**, v. 154, n. 1, p. 67–90, 14 maio 2019. doi: 10.1007/s10658-018-1540-6.

KOSTIC, L.; NIKOLIC, N.; BOSNIC, D.; SAMARDZIC, J.; NIKOLIC, M. Silicon increases phosphorus (P) uptake by wheat under low P acid soil conditions. **Plant and Soil**, v. 419, n. 1–2, p. 447–455, 1 out. 2017. doi: 10.1007/s11104-017-3364-0.

LAANE, H.-M. The Effects of Foliar Sprays with Different Silicon Compounds. **Plants**, v. 7, n. 2, p. 45, 7 jun. 2018. doi: 10.3390/plants7020045.

LARA, F. M. **Princípios de Resistência de plantas a insetos.** Ícone Edit ed. [s.l: s.n.]

LIANG, Y.; RICHARD, M. N.; GONG, H.; SONG, A. **Silicon in Agriculture**. [s.l.: s.n.]

LIMA, A. F.; BERNAL, J.; VENÂNCIO, M. G. S.; DE SOUZA, B. H. S.; CARVALHO, G. A. Comparative Tolerance Levels of Maize Landraces and a Hybrid to Natural Infestation of Fall Armyworm. **Insects**, v. 13, n. 7, p. 651, 19 jul. 2022. doi: 10.3390/insects13070651.

LIMA, T. H. **Genética populacional de *Gossypium hirsutum* raça marie galante no Brasil segundo condições de estresse hídrico e fertilidade do solo**. 2017. Instituto Federal Goiano Campus Urutaí, 2017.

LIU, J.; ZHU, J.; ZHANG, P.; HAN, L.; REYNOLDS, O. L.; ZENG, R.; WU, J.; SHAO, Y.; YOU, M.; GURR, G. M. Silicon Supplementation Alters the Composition of Herbivore Induced Plant Volatiles and Enhances Attraction of Parasitoids to Infested Rice Plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 19 jul. 2017. doi: 10.3389/fpls.2017.01265.

LOO, E. P.-I.; TAJIMA, Y.; YAMADA, K.; KIDO, S.; HIRASE, T.; ARIGA, H.; FUJIWARA, T.; TANAKA, K.; TAJI, T.; SOMSSICH, I. E.; PARKER, J. E.; SAIJO, Y. Recognition of Microbe- and Damage-Associated Molecular Patterns by Leucine-Rich Repeat Pattern Recognition Receptor Kinases Confers Salt Tolerance in Plants. **Molecular Plant-Microbe Interactions®**, v. 35, n. 7, p. 554–566, jul. 2022. doi: 10.1094/MPMI-07-21-0185-FI.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 8, p. 392–397, ago. 2006. doi: 10.1016/j.tplants.2006.06.007.

MACEDO; L. P. M.; CUNHA, U. S. DA; VENDRAMIM, J. D. GOSSIPOL: FATOR DE RESISTÊNCIA A INSETOS-PRAGA. **campo digital**, v. 2, n. 34–42, 2007.

MACIAS-BOBADILLA, I.; VARGAS-HERNANDEZ, M.; GUEVARA-GONZALEZ, R. G.; RICO-GARCIA, E.; OCAMPO-VELAZQUEZ, R. V.; AVILA-JUAREZ, L.; TORRES-PACHECO, I. Hormetic and xenohormetic potential in the phytobiome of the center of origin. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 67, n. 5, p. 1331–1344, 3 jun. 2020. doi: 10.1007/s10722-020-00912-9.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed.1997.

MALINGA, L. N.; LAING, M. D. Efficacy of Biopesticides in the Management of the Cotton Bollworm, *Helicoverpa armigera* (Noctuidae), under Field Conditions. **Insects**, v. 13, n. 8, p. 673, 27 jul. 2022. doi: 10.3390/insects13080673.

MAO, Y.; LU, S.; WANG, L.; CHEN, X. Biosynthesis of gossypol in cotton. **CABI Reviews**, v. 2006, jan. 2006. doi: 10.1079/PAVSNNR20061049.

MARSCHNER H. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. [s.l.] Elsevier, 2012.
MCDONALD, A. E.; GRANT, B. R.; PLAXTON, W. C. PHOSPHITE (PHOSPHOROUS ACID): ITS RELEVANCE IN THE ENVIRONMENT AND AGRICULTURE AND INFLUENCE ON PLANT PHOSPHATE STARVATION RESPONSE. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 10, p. 1505–1519, 31 out. 2001. doi: 10.1081/PLN-100106017.

- MINGOTTI DIAS, P.; DE SOUZA LOUREIRO, E.; AMORIM PESSOA, L. G.; MENDES DE OLIVEIRA NETO, F.; DE SOUZA TOSTA, R. A.; TEODORO, P. E. Interactions between Fungal-Infected *Helicoverpa armigera* and the Predator *Chrysoperla externa*. **Insects**, v. 10, n. 10, p. 309, 20 set. 2019. doi: 10.3390/insects10100309.
- MIR, R. A.; BHAT, B. A.; YOUSUF, H.; ISLAM, S. T.; RAZA, A.; RIZVI, M. A.; CHARAGH, S.; ALBAQAMI, M.; SOFI, P. A.; ZARGAR, S. M. Multidimensional Role of Silicon to Activate Resilient Plant Growth and to Mitigate Abiotic Stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 23 mar. 2022. doi: 10.3389/fpls.2022.819658.
- MO, J.; MCDUGALL, S.; BEAUMONT, S.; MUNRO, S.; STEVENS, M. M. Effects of simulated seedling defoliation on growth and yield of cotton in southern New South Wales. **Crop and Pasture Science**, v. 69, n. 9, p. 915, 2018. doi: 10.1071/CP18093.
- MOOR, U.; PÖLDMA, P.; TÕNUTARE, T.; KARP, K.; STARAST, M.; VOOL, E. Effect of phosphite fertilization on growth, yield and fruit composition of strawberries. **Scientia Horticulturae**, v. 119, n. 3, p. 264–269, fev. 2009. doi: 10.1016/j.scienta.2008.08.005.
- MOSCARDI, F.; BUENO, A. F. ; SOSA-GÓMEZ, D. R.; ROGGIA, S. ; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; POMARI, A. F. ; CORSO, I. C. ;; YANO, S. A. C. Soja – Manejo Integrado de Pragas e outros Artrópodes-praga. Em: **In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F.** [s.l: s.n.] p. 213–309. 2012.
- MULUGETA, T.; MULATU, B.; TEKIE, H.; YESUF, M.; ANDREASSON, E.; ALEXANDERSSON, E. Phosphite alters the behavioral response of potato tuber moth (*Phthorimaea operculella*) to field-grown potato. **Pest Management Science**, v. 75, n. 3, p. 616–621, mar. 2019. doi: 10.1002/ps.5152.
- NAGARATNA, W.; KALLESHWARASWAMY, C. M.; DHANANJAYA, B. C.; SHARANABASAPPA; PRAKASH, N. B. Effect of Silicon and Plant Growth Regulators on the Biology and Fitness of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*, a Recently Invaded Pest of Maize in India. **Silicon**, v. 14, n. 3, p. 783–793, 3 fev. 2022. doi: 10.1007/s12633-020-00901-8.
- NASCIMENTO, A. M.; ASSIS, F. A.; MORAES, J. C.; SOUZA, B. H. S. Silicon application promotes rice growth and negatively affects development of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). **Journal of Applied Entomology**, v. 142, n. 1–2, p. 241–249, fev. 2018. doi: 10.1111/jen.12461.
- NERI, D. K. P.; MORAES, J. C.; GAVINO, M. A. Interação silício com inseticida regulador de crescimento no manejo de lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) EM MILHO1. **Ciênc. agrotec**, v. 29, p. 1167–1174, 2005.
- NOGUEIRA, A. M.; JESUS, K. A. de; JUNIOR, J. C. L.; BEZERRA, C. E. S. No Title. **CONNECTION LINE**, v. 19, n. ISSN 1980-7341, p. 52–62, 2018.
- NOJOSA, G. B. DE A.; RESENDE, M. L. V.; RESENDE, Á. V. Uso de fosfitos na indução de resistência. Em: CAVALCANTI, L. S. ; DI PIERO, R. M. ; CIA, P. ; PASCHOLATI, S. F. ; RESENDE, M. L. V. ;; ROMEIRO, R. S. (Ed.). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos.** [s.l: s.n.] p. 139–153. 2005.

- NOJOSA, G. B. R. A.; RESENDE, M. L. V. ; BARGUIL, B. M. ; MORAES, S. R. G. ; VILAS; BOAS, C. H. Efeito de indutores de resistência em cafeeiro contra a mancha de Phoma. **Summa Phytopathologica**, v. 35, p. 60–62, 2009.
- NUNES, M. A. Plumas do Cerrado: a reconfiguração espacial da produção algodoeira (cotonicultura) no Brasil e em Minas Gerais no início do século XXI. **Revista Espinhaço**, v. 11, n. 2317–0611, 2022.
- PAINTER, R. H. **Insect resistance in crop plants**, 1951.
- PATTERSON, M.; ALYOKHIN, A. Survival and development of Colorado potato beetles on potatoes treated with phosphite. **Crop Protection**, v. 61, p. 38–42, jul. 2014. doi: 10.1016/j.cropro.2014.03.014.
- PENNA, J. C. V. In: BORÉM, A. Melhoria de espécies cultivadas. Em: **Melhoramento do algodão**. 2. ed. p. 15–53. 2005.
- PERDOMO, D. N.; RODRIGUES, A. A. R.; SAMPAIO, M. V.; CELOTTO, F. J.; MENDES, S. M.; PEREIRA, H. S.; LIMA, D. T. de; REZENDE, G. F. Increase in foliar silicon content reduces defoliation by *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize. **Bragantia**, v. 81, 2022. doi: 10.1590/1678-4499.20210147.
- PERINI, C. R.; SOSA, V. I.; KODA, V. E.; SILVA, H.; RISSO, A. A.; VASCONCELOS, W. N. F.; GONÇALVES, C. F.; UGALDE, G. A.; MACHADO, D. N.; BEVILACQUA, C. B.; ARDISSON-ARAÚJO, D. M. P.; MAEBE, K.; SMAGGHE, G.; VALMORBIDA, I.; GUEDES, J. C. Genetic structure of two Plusiinae species suggests recent expansion of *Chrysodeixis includens* in the American continent. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 23, n. 3, p. 250–260, 7 ago. 2021. doi: 10.1111/afe.12427.
- POZZA, E. A. ; POZZA, A. A. A. Grupo de Estudos Avançados em Fitopatologia. Nutrição no manejo de doenças de plantas. Em: **Nutrição mineral no manejo de doenças de plantas**. 2012.
- QUEIROZ, L. F. de; CORASSA, J. D. N.; RODRIGUES, S. M. M.; PITTA, R. M. Susceptibility of soybean looper to lufenuron and spinosad. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 87, 2020. doi: 10.1590/1808-1657000062019.
- RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Em: **Agronômica Ceres**. p. 343. 1991.
- RATJEN, A. M.; GERENDÁS, J. A critical assessment of the suitability of phosphite as a source of phosphorus. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, n. 6, p. 821–828, 25 dez. 2009. doi: 10.1002/jpln.200800287.
- RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews**, v. 58, n. 2, p. 179–207, maio 1983. doi: 10.1111/j.1469-185X.1983.tb00385.x.
- REICHEL, T.; DE RESENDE, M. L. V.; MONTEIRO, A. C. A.; FREITAS, N. C.; DOS SANTOS BOTELHO, D. M. Constitutive Defense Strategy of Coffee Under Field Conditions: A Comparative Assessment of Resistant and Susceptible Cultivars to Rust. **Molecular Biotechnology**, v. 64, n. 3, p. 263–277, 30 mar. 2022. doi: 10.1007/s12033-021-00405-9.

- RESTELATTO, S. S.; WILLE, P. E.; BUSS, N.; WILLE, C. L.; BOFF, M. I. C.; CONTINI, R. E.; FRANCO, C. R. Intraspecific variation in the *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) susceptibility to insecticides. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, 2021. doi: 10.1590/1983-40632021v5167353.
- 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, n. 2, p. 171–186, 2009. doi: 10.1111/j.1744-7348.2009.00348.x.
- REYNOLDS, O. L.; PADULA, M. P.; ZENG, R.; GURR, G. M. Silicon: Potential to Promote Direct and Indirect Effects on Plant Defense Against Arthropod Pests in Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 13 jun. 2016. doi: 10.3389/fpls.2016.00744.
- RIAZ, S.; JOHNSON, J. B.; AHMAD, M.; FITT, G. P.; NAIKER, M. A review on biological interactions and management of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Applied Entomology**, v. 145, n. 6, p. 467–498, 31 jul. 2021. doi: 10.1111/jen.12880.
- ROSSETTO, C. J.. **Resistência de plantas a insetos**. 2019.
- RUAN, Y.-L. Recent advances in understanding cotton fibre and seed development. **Seed Science Research**, v. 15, n. 4, p. 269–280, 22 dez. 2005. doi: 10.1079/SSR2005217.
- SANTOS, A. F. B. dos; TEIXEIRA, G. C. M.; CAMPOS, C. N. S.; BAILO, F. H. R.; PRADO, R. de M.; TEODORO, L. P. R.; VILELA, R. G.; PAIVA NETO, V. B. de; TEODORO, P. E. Silicon increases chlorophyll and photosynthesis and improves height and NDVI of cotton (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e548973826, 26 maio 2020. doi: 10.33448/rsd-v9i7.3826.
- SARFRAZ, M.; DOSDALL, L. M.; KEDDIE, B. A. Diamondback moth–host plant interactions: Implications for pest management. **Crop Protection**, v. 25, n. 7, p. 625–639, jul. 2006. doi: 10.1016/j.cropro.2005.09.011.
- SHENG, H.; CHEN, S. **Plant silicon-cell wall complexes: Identification, model of covalent bond formation and biofunction** *Plant Physiology and Biochemistry* Elsevier Masson SAS, 1 out. 2020. . doi: 10.1016/j.plaphy.2020.07.020.
- SILVA, A. A.; ALVARENGA, R.; MORAES, J. C.; ALCANTRA, E. Biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em Algodoeiro de Fibra Colorida Tratado com Silício. **EntomoBrasilis**, v. 7, n. 1, p. 65–68, 2014a. doi: 10.12741/ebrasilis.v7i1.365.
- SILVA, A. A.; ALVARENGA, R.; MORAES, J. C.; ALCANTRA, E. Biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em Algodoeiro de Fibra Colorida Tratado com Silício. **EntomoBrasilis**, v. 7, n. 1, p. 65–68, 21 abr. 2014b. doi: 10.12741/ebrasilis.v7i1.365.
- SILVA, C. S.; CORDEIRO, E. M. G.; PAIVA, J. B.; DOURADO, P. M.; CARVALHO, R. A.; HEAD, G.; MARTINELLI, S.; CORREA, A. S. Population expansion and genomic adaptation to agricultural environments of the soybean looper, *Chrysodeixis includens*. **Evolutionary Applications**, v. 13, n. 8, p. 2071–2085, 19 set. 2020. doi: 10.1111/eva.12966.

SILVA FILHO, M. de C.; FALCO, M. c. Interação planta-inseto. **Biociência**, v. 10, n. 1, p. 38–42, 2000.

SILVA, I. P. F.; JUNIOR, J. . F. . S.; ARALDI, R.; TANAKA, A. . A.; GIROTTO, M.; BOSQUÊ, G. G.; LIMA, F. C. C. Estudo das fases fenológicas do algodão (*Gossypium hirsutum* L.). **Revista científica eletrônica de agronomia**, v. 20, n. 1677– 0293, p. 1–10, 2011.

SORGATTO, R. J.; BERNARDI, O.; OMOTO, C. Survival and Development of *Spodoptera frugiperda* and *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera : Noctuidae) on Bt Cotton and Implications for Resistance Management Strategies in Brazil. 2015. doi: 10.1093/ee/nvu018.

SOSA-GÓMEZ, D. R.; SPECHT, A.; PAULA-MORAES, S. V.; LOPES-LIMA, A.; YANO, S. A. C.; MICHELI, A.; MORAIS, E. G. F.; GALLO, P.; PEREIRA, P. R. V. S.; SALVADORI, J. R.; BOTTON, M.; ZENKER, M. M.; AZEVEDO-FILHO, W. S. Timeline and geographical distribution of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera, Noctuidae: Heliiothinae) in Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 60, n. 1, p. 101–104, jan. 2016. doi: 10.1016/j.rbe.2015.09.008.

SOSA-GÓMEZ; R., D.; LASTRA, L.; C., C.; HUMBER, R. A. An Overview of Arthropod-Associated Fungi from Argentina and Brazil. **Mycopathologia**, v. 170, n. 1, p. 61–76, 22 jul. 2010. doi: 10.1007/s11046-010-9288-3.

SOUSA, A. C. G.; SOUZA, B. H. S.; MARCHIORI, P. E. R.; BÔAS, L. V. V. Characterization of priming, induced resistance, and tolerance to *Spodoptera frugiperda* by silicon fertilization in maize genotypes. **Journal of Pest Science**, v. 95, n. 3, p. 1387–1400, 18 jun. 2022. doi: 10.1007/s10340-021-01468-y.

SPANOS, G. A.; WROLSTAD, R. E. Influence of processing and storage on the phenolic composition of Thompson Seedless grape juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 38, n. 7, p. 1565–1571, 1 jul. 1990. doi: 10.1021/jf00097a030.

SPARKS, T. C.; CROSTHWAITE, A. J.; NAUEN, R.; BANBA, S.; CORDOVA, D.; EARLEY, F.; EBBINGHAUS-KINTSCHER, U.; FUJIOKA, S.; HIRAO, A.; KARMON, D.; KENNEDY, R.; NAKAO, T.; POPHAM, H. J. R.; SALGADO, V.; WATSON, G. B.; WEDEL, B. J.; WESSELS, F. J. Insecticides, biologics and nematicides: Updates to IRAC’s mode of action classification - a tool for resistance management. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 167, p. 104587, jul. 2020. doi: 10.1016/j.pestbp.2020.104587.

SPECHT, A.; DE PAULA-MORAES, S. V.; SOSA-GÓMEZ, D. R. Host plants of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera, Noctuidae, Plusiinae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 59, n. 4, p. 343–345, out. 2015. doi: 10.1016/j.rbe.2015.09.002.

SPECHT, A.; SILVA, E. J. E.; LINK, D. Noctuídeos (Lepidoptera, Noctuidae) do museu entomológico Ceslau Biezanko, departamento de fitossanidade, faculdade de agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, RS. **Revista brasileira Agrociência**, v. 10, n4, p. 389–409, 2004.

SPECHT, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; PAULA-MORAES, S. V. de; YANO, S. A. C. Identificação morfológica e molecular de *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) e

ampliação de seu registro de ocorrência no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 6, p. 689–692, jun. 2013. doi: 10.1590/S0100-204X2013000600015.

SRIKANTH, P.; MAXTON, A.; MASIH, S. A. Bt cotton: A boon against insect resistance. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8–2, p. 202–205, 2019.

STACKE, R. F.; GIACOMELLI, T.; BRONZATTO, E. S.; HALBERSTADT, S. A.; GARLET, C. G.; MURARO, D. S.; GUEDES, J. V. C.; BERNARDI, O. Susceptibility of Brazilian Populations of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) to Selected Insecticides. **Journal of Economic Entomology**, v. 112, n. 3, p. 1378–1387, 22 maio 2019. doi: 10.1093/jee/toz031.

STATSOFT. **STATISTICA (data analysis software system)** Tulsa, 2004.
SUZANA, C. S.; DAMIANI, R.; FORTUNA, L. S.; SALVADORI, J. R. Desempenho de larvas de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes fontes alimentares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 480–485, dez. 2015. doi: 10.1590/1983-40632015v4536733.

TANG, J.; LU, J.; ZHANG, C.; YU, S.; DING, Z.; SOE, E. T.; LIANG, G. The evaluation of resistance risk to Cry2Ab and cross-resistance to other insecticides in *Helicoverpa armigera*. **Journal of Pest Science**, 17 jun. 2023. doi: 10.1007/s10340-023-01646-0.

THAKUR, M.; SOHAL, B. S. Role of Elicitors in Inducing Resistance in Plants against Pathogen Infection: A Review. **ISRN Biochemistry**, v. 2013, p. 1–10, 28 jan. 2013. doi: 10.1155/2013/762412.

THOMMA, B. P. H. J.; NÜRNBERGER, T.; JOOSTEN, M. H. A. J. Of PAMPs and Effectors: The Blurred PTI-ETI Dichotomy. **The Plant Cell**, v. 23, n. 1, p. 4–15, jan. 2011. doi: 10.1105/tpc.110.082602.

TOSSOU, E.; TEPA-YOTTO, G.; KPINDOU, O. K. D.; SANDEU, R.; DATINON, B.; ZEUKENG, F.; AKOTON, R.; TCHIGOSSOU, G. M.; DJÈGBÈ, I.; VONTAS, J.; MARTIN, T.; WONDJI, C.; TAMÒ, M.; BOKONON-GANTA, A. H.; DJOUAKA, R. Susceptibility Profiles of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to Deltamethrin Reveal a Contrast between the Northern and the Southern Benin. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 11, p. 1882, 28 maio 2019. doi: 10.3390/ijerph16111882.

ULHOA, L. A.; BARRIGOSI, J. A. F.; BORGES, M.; LAUMANN, R. A.; BLASSIOLI-MORAES, M. C. Differential induction of volatiles in rice plants by two stink bug species influence behaviour of conspecifics and their natural enemy *Telenomus podisi*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 168, n. 1, p. 76–90, 17 jan. 2020. doi: 10.1111/eea.12869.

VARGAS-HERNANDEZ, M.; MACIAS-BOBADILLA, I.; GUEVARA-GONZALEZ, R. G.; ROMERO-GOMEZ, S. de J.; RICO-GARCIA, E.; OCAMPO-VELAZQUEZ, R. V.; ALVAREZ-ARQUIETA, L. de L.; TORRES-PACHECO, I. Plant Hormesis Management with Biostimulants of Biotic Origin in Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 13 out. 2017. doi: 10.3389/fpls.2017.01762.

VIANA, D. de L.; NETTO, J. C.; AGUIRRE-GIL, O. J.; BUSOLI, A. C. Parâmetros biológicos da lagarta falsa-medideira em cultivares de algodoeiro com as proteínas Cry1Ac e Cry1F. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 7, p. 569–572, jul. 2014. doi: 10.1590/S0100-204X2014000700010.

VIEGAS JÚNIOR, C. Terpenos com atividade inseticida: uma alternativa para o controle químico de insetos. **Química Nova**, v. 26, n. 3, p. 390–400, maio 2003. doi: 10.1590/S0100-40422003000300017.

VILELA, A. E.; DE RESENDE, M. L. V.; DE MEDEIROS, F. C. L.; PEREIRA, M. H. de B.; SANTIAGO, W. D.; DE AZEVEDO SANTOS, L.; DOS SANTOS BOTELHO, D. M.; RAMALHO, T. C. Association phosphite x fungicide: protection against powdery mildew in soybean plants, translocation and computer simulation. **Journal of Plant Pathology**, v. 104, n. 2, p. 787–793, 22 maio 2022. doi: 10.1007/s42161-022-01086-2.

VILELA, M.; MORAES, J. C.; ALVES, E.; SANTOS-CIVIDANES, T. M.; SANTOS, F. A. No Title. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 40, n. 0120–0488, p. 44–48, 2014.
WANG, X.; CHEN, H.; SHAN, Z.; HAO, Q.; ZHANG, C.; YANG, Z.; ZHANG, X.; YUAN, S.; QIU, D.; CHEN, S.; JIAO, Y.; ZHOU, X. Herbivore defense responses and associated herbivore defense mechanism as revealed by comparing a resistant wild soybean with a susceptible cultivar. **The Crop Journal**, v. 3, n. 6, p. 451–467, dez. 2015. doi: 10.1016/j.cj.2015.07.001.

WU, K.; MU, W.; LIANG, G.; GUO, Y. Regional reversion of insecticide resistance in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) is associated with the use of Bt cotton in northern China. **Pest Management Science**, v. 61, n. 5, p. 491–498, maio 2005. doi: 10.1002/ps.999.

XIAO, Y.; WU, K. Recent progress on the interaction between insects and *Bacillus thuringiensis* crops. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 374, n. 1767, p. 20180316, 4 mar. 2019. doi: 10.1098/rstb.2018.0316.

YE, M.; SONG, Y.; LONG, J.; WANG, R.; BAERSON, S. R.; PAN, Z.; ZHU-SALZMAN, K.; XIE, J.; CAI, K.; LUO, S.; ZENG, R. Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 110, n. 38, 17 out. 2013. doi: 10.1073/pnas.1305848110.

ZALUCKI, M. P.; FURLONG, M. J. Forecasting *Helicoverpa* populations in Australia: A comparison of regression-based models and a bioclimatic based modelling approach. **Insect Science**, v. 12, n. 1, p. 45–56, 22 fev. 2005. doi: 10.1111/j.1672-9609.2005.00007.x.

ZAYED, M. S.; TAHA, E.-K. A.; HASSAN, M. M.; ELNABAWY, E.-S. M. Enhance Systemic Resistance Significantly Reduces the Silverleaf Whitefly Population and Increases the Yield of Sweet Pepper, *Capsicum annuum* L. var. annuum. **Sustainability**, v. 14, n. 11, p. 6583, 27 maio 2022. doi: 10.3390/su14116583.

ZHANG, C.; WANG, L.; ZHANG, W.; ZHANG, F. Do lignification and silicification of the cell wall precede silicon deposition in the silica cell of the rice (*Oryza sativa* L.) leaf epidermis? **Plant and Soil**, v. 372, n. 1–2, p. 137–149, 5 nov. 2013. doi: 10.1007/s11104-013-1723-z.

ZUNUN-PÉREZ, A. Y.; GUEVARA-FIGUEROA, T.; JIMENEZ-GARCIA, S. N.; FERREGRINO-PÉREZ, A. A.; GAUTIER, F.; GUEVARA-GONZÁLEZ, R. G. Effect of foliar application of salicylic acid, hydrogen peroxide and a xyloglucan oligosaccharide on capsiate content and gene expression associated with capsinoids synthesis in *Capsicum annum* L. **Journal of Biosciences**, v. 42, n. 2, p. 245–250, 20 jun. 2017a. doi: 10.1007/s12038-017-9682-9.

**ARTIGO 2 - FERTILIZANTES MINERAIS À BASE DE FOSFITOS NA INDUÇÃO
DE RESISTÊNCIA E TOLERÂNCIA DE ALGODOEIRO A *Chrysodeixis includes* E
Helicoverpa armigera (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

Fernanda da Silva Ferreira¹; Bruno Henrique Sardinha de Souza¹; Ana Paula Ananias
Antunes ¹; Larah Martins Freitas¹; Daniel de Carvalho Melo Costa ¹

¹Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG, Brasil,
Câmpus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 2Departamento de Entomologia e
Acarologia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Esalq-USP), Piracicaba-SP,
Brasil, Câmpus Universitário, Caixa Postal 9, CEP 13.418-900

* Autora correspondente: Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras
(UFLA), Lavras-MG, Brasil, Câmpus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000,
Telefone (35) 3829- 5128/ (35) 3829-1287 Email: fernanda.agronomiaunemat@hotmail.com

RESUMO

Pesquisas voltadas à avaliação do uso de elicitores minerais como parte integrante de estratégias de manejo de pragas na cultura do algodão são necessárias para gerar novas informações em relação à compatibilidade e eficiência no manejo de pragas de importantes culturas agrícolas como o algodoeiro. O objetivo foi avaliar a aplicação de elicitores minerais no desempenho biológico de lagartas de *C. includens* e *H. armigera* em cultivares transgênica Bt e convencional de algodoeiro. As plantas das cultivares foram semeadas em campo e consistiram de três cultivares de algodão, sendo uma convencional e duas transgênicas. As plantas foram tratadas com fertilizantes minerais à base de fosfito de cobre e fosfito de potássio + silício nas doses de 5 e 3 L ha⁻¹, além da aplicação de água como controle (testemunha). Os tratamentos foram dispostos em campo em esquema fatorial 3 x 3 (cultivares x elicitores), com um total de cinco aplicações, sendo três durante a fase vegetativa e duas na fase reprodutiva do algodoeiro. As plantas em campo foram utilizadas para coleta de folhas para bioensaios de avaliação do desempenho biológico das lagartas de *C. includens* e *H. armigera* em laboratório, registrando-se após sete dias a sobrevivência, ganho de peso e consumo foliar. O experimento de tolerância do algodoeiro a *C. includens* foi conduzido em casa de vegetação e laboratório em esquema fatorial 3 x 2, compreendendo a aplicação dos mesmos elicitores em condições com e sem herbivoria. Lagartas de *C. includens* foram confinadas nas plantas em gaiolas de tecido *voile*, e após 30 dias as plantas foram avaliadas quanto à altura, massa seca, teor de clorofila e densidade de glândulas de gossipol. As cultivares transgênicas no estágio vegetativo apresentaram resistência moderada a *C. includens*, e a fertilização com os produtos não afetaram o desempenho biológico das lagartas. A sobrevivência larval de *H. armigera* na fase reprodutiva de algodoeiro convencional diferiu dos transgênicos e proporcionou sobrevivência de 83%, enquanto as cultivares Bt ficaram abaixo de 7%. A aplicação foliar de fosfito K + Si promoveu redução do consumo foliar e diminuição do peso larval de *H. armigera* na cultivar convencional. Foram observados efeitos significativos para a aplicação de fosfito K + Si e fosfito Cu na matéria seca das plantas. Para a massa seca da raiz, os efeitos foram significativos para elicitor e herbivoria de forma isolada. A aplicação dos produtos dobrou a matéria seca da raiz, e a herbivoria de *C. includens* estimulou o aumento da massa seca da raiz das plantas. Dados que podem contribuir com o desenvolvimento de estratégias de manejo integrado de pragas com o uso dos elicitores.

Palavras-chave: fosfitos; cobre; potássio; silício; *Gossypium*; lagartas.

ABSTRACT

Research aimed at evaluating the use of mineral elicitors as an integral part of pest management strategies in cotton is necessary to generate new information regarding compatibility and efficiency in pest management of important agricultural crops such as cotton. The objective was to evaluate the application of mineral elicitors on the biological performance of caterpillars of *C. includens* and *H. armigera* in transgenic Bt and conventional cotton cultivars. The cultivar plants were sown in the field and consisted of three cotton cultivars, one conventional and two transgenic. The plants were treated with mineral fertilizers based on copper phosphite and potassium phosphite + silicon at doses of 5 and 3 L ha⁻¹, in addition to the application of water as a control (control). The treatments were arranged in the field in a 3 x 3 factorial scheme (cultivars x elicitors), with a total of five applications, three during the vegetative phase and two during the reproductive phase of the cotton plant. Plants in the field were used to collect leaves for bioassays to evaluate the biological performance of *C. includens* and *H. armigera* caterpillars in the laboratory, registering survival, weight gain and leaf consumption after seven days. The cotton plant tolerance experiment to *C. includens* was carried out in a greenhouse and laboratory in a 3 x 2 factorial scheme, comprising the application of the same elicitors in conditions with and without herbivory. Caterpillars of *C. includens* were confined to the plants in voile fabric cages, and after 30 days the plants were evaluated for height, dry mass, chlorophyll content and density of gossypol glands. The transgenic cultivars in the vegetative stage showed moderate resistance to *C. includens*, and fertilization with the products did not affect the biological performance of the caterpillars. The larval survival of *H. armigera* in the reproductive phase of conventional cotton differed from the transgenic ones and provided survival of 83%, while the Bt cultivars were below 7%. Foliar application of K + Si phosphite promoted a reduction in leaf consumption and a decrease in larval weight of *H. armigera* in the conventional cultivar. Significant effects were observed for the application of K + Si phosphite and Cu phosphite on the dry matter of the plants. For root dry mass, the effects were significant for elicitor and herbivory alone. The application of the products doubled the dry mass of the root, and the herbivory of *C. includens* stimulated the increase of the dry mass of the roots of the plants. Data that can contribute to the development of integrated pest management strategies with the use of voters.

Keywords: phosphites; copper; potassium; silicon; *Gossypium*; caterpillars.

1 INTRODUÇÃO

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é a espécie de fibra produzida mais importante mundialmente, do aspecto social e econômico. A fibra representa entre 35 e 42% da matéria-prima, com aproveitamento completo em relação às demais culturas (CORRÊA, 1989). Os países que mais se destacam na produção mundial são Índia, China, Estados Unidos, Brasil e Paquistão. O Brasil é a quinta maior indústria têxtil e quarta no seguimento vestuário no mundo, sendo a maior cadeia desse seguimento no ocidente de forma autossuficiente na produção, e o segundo setor que mais gera renda e emprego atrás do setor de alimentos e bebidas. Os estados de Mato Grosso, Bahia e Minas Gerais concentram mais de 90% da produção da pluma brasileira (CAVALCANTI; SANTOS, 2022). Apesar do aumento em área de cultivo e produção de algodão no Brasil, essa expansão e intensificação dos sistemas de cultivo contribuíram para aumentar significativamente os problemas com ataque de insetos.

A cultura algodoeira está sujeita à infestação e herbivoria de diversas espécies de insetos pragas que ocorrem nas plantas desde a semeadura até a colheita. O ataque de insetos pragas é uma das maiores limitações do seu cultivo, principalmente devido aos ataques de lagartas desfolhadoras e daquelas que atacam estruturas reprodutivas do algodoeiro (BUSOLI et al., 2011; LIMA, 2017). Níveis de desfolhas acima de 25% ocasionam redução da produtividade do algodoeiro, pois reduzem o seu potencial fotossintético na fase vegetativa, e no estágio fenológico F1 (primeiro botão floral do primeiro ramo) apresenta as maiores perdas na redução foliar e na qualidade da fibra. O nível de desfolha afeta diretamente a produção em função do estágio fenológico da cultura do algodão, refletindo no atraso de ciclo e maturação da planta, resultando em redução da porcentagem de capulhos abertos antes da colheita (MO et al., 2018; KODAMA et al., 2022).

Entre os principais insetos-praga da ordem Lepidoptera, *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae), conhecida popularmente como falsa-medideira é uma praga desfolhadora polífaga de ocorrência em pelo menos 175 planta hospedeiras. No Brasil, as infestações de *C. includens* podem ser remanescentes do cultivo antecedente de soja, com alto potencial de danos ao algodoeiro, reduzindo a produtividade e qualidade de fibra (BALDIN; LOURENÇÃO; SCHLICK-SOUZA, 2014). Outra praga polífaga de introdução relativamente recente no Brasil e de difícil controle é a lagarta-da-maçã *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera: Noctuidae). Essa lagarta alimenta-se tanto de estruturas vegetativas quanto reprodutivas, ocorrendo em mais de 200 espécies de plantas, incluindo importantes culturas agrícolas. *H. armigera* possui alta fecundidade, mobilidade e resistência a

diversos inseticidas químicos (TOSSOU et al., 2019; MALINGA; LAING, 2022). A polifagia de ambas as espécies de pragas está relacionada com sua dinâmica populacional nos sistemas agrícolas. As populações se desenvolvem de forma simultânea ou sequencial nas plantas hospedeiras, dificultando o controle por permanecerem no agroecossistema praticamente todo o ano.

Para ambas as espécies de lagartas, o controle químico com pulverizações de inseticidas é o método mais utilizado (CAMARGO et al., 2020). No Brasil, o relato da tolerância de *C. includens* a grupos químicos de inseticidas é recente, com populações apresentando razão de resistência superior a 10 vezes já foram detectadas para inseticidas de diversos grupos químicos, como flubendiamida, clorantraniliprole, metomil, lambdacialotrina, metoxifenoazida, novaluron, teflubenzuron e espinosade. Também há informações de que *C. includens* é naturalmente mais tolerante a inseticidas em geral do que outras espécies de lagartas, como *A. gemmatilis* (ROSE et al., 1988) e *H. armigera* (STACKE et al., 2019; QUEIROZ et al., 2020; RESTELATTO et al., 2021; BUSS et al., 2022). O cultivo de plantas geneticamente modificadas que expressam proteínas provenientes da bactéria *Bacillus thuringiensis* tóxicas a lagartas-alvo também representa um método de controle amplamente utilizado no Manejo Integrado de Pragas do algodoeiro no Brasil e em diversas regiões do mundo, como China, EUA, Austrália e África (WU et al., 2005; ACHALEKE; BRÉVAULT, 2009; DJIHINTO et al., 2009).

Outras estratégias de manejo devem ser desenvolvidas e aplicadas com a finalidade de evitar ou retardar o processo de estabelecimento de populações resistentes ao uso de inseticidas e plantas geneticamente modificadas com o intuito de maximizar a durabilidade das tecnologias. Portanto, a ativação dos mecanismos de resistência das plantas que atuam em resposta aos diversos tipos de estresse aos quais estão constantemente expostas é uma alternativa ao manejo integrado de pragas (JOHNSON et al., 2019). Dentre esses mecanismos induzidos de defesa, os efeitos de antibiose caracterizam pela ativação de defesas que interferem de forma direta no desenvolvimento, sobrevivência e reprodução dos insetos pragas, enquanto a tolerância pode ativar o sistema de compensação ou supercompensação de crescimento das plantas devido à maior eficiência fotossintética e uso das reservas armazenadas (LIMA et al., 2022).

A aplicação de elicitores desencadeia respostas de defesa das plantas na forma de dose-resposta, onde baixas doses induzem uma condição de estresse e efeitos estimulatórios e em altas doses produzem efeitos tóxicos (ZUNUN-PÉREZ et al., 2017a). Poucos trabalhos foram

conduzidos avaliando o efeito da aplicação de fertilizantes minerais como elicitores de defesa no controle de lagartas desfolhadoras e os seus efeitos na tolerância de plantas. Zayed et al., (2022) verificaram que a aplicação de fosfito de potássio, microrganismos e ácido salicílico ativou a produção de enzimas que contribuíram para a diminuição da população de *Bemisia tabaci* na cultura do pimentão. O mesmo efeito foi observado na cultura da batata, e na sobrevivência e desenvolvimento de *Leptinotarsa decemlineata* nas plantas submetidas à aplicação de fosfito (sais do ácido fosforoso H_3PO_3), (PATTERSON; ALYOKHIN, 2014; MULUGETA et al., 2019). Estudos com a aplicação de produtos à base de cobre e silício também são promissores e demonstram eficiência na ativação das vias de sinalização de defesa e tolerância de planta a herbívoros.

O silício possui efeito antinutricional aos insetos, refletindo negativamente nos parâmetros biológicos e sobrevivência, pois se acumula na parede celular, aumentando a lignificação das folhas e assim dificultando a digestibilidade dos tecidos e assimilação dos nutrientes. A própria absorção de silício, bem como os micronutrientes podem ativar as vias de sinalização da planta, e estimular a produção de compostos secundários ligados à indução de defesas ou ativação do sistema de compensação em função aos estresses bióticos e abióticos. Pesquisas em várias culturas avaliaram o efeito da aplicação desses elicitores a diferentes pragas foram conduzidos, confirmando sua eficiência (GOUSSAIN et al., 2002; DE FREITAS BUENO et al., 2011; DOS SANTOS et al., 2015; NASCIMENTO et al., 2018; DE OLIVEIRA et al., 2020; NAGARATNA et al., 2022).

Dentre os elicitores, os micronutrientes quando aplicados via pulverização foliar oferecem uma resposta mais rápida na ativação das defesas químicas em relação à aplicação via solo, pois entram diretamente nos processos metabólicos das plantas (LAANE, 2018). Os micronutrientes exercem funções importantes no metabolismo vegetal, conferindo alterações na composição química da planta, anatomia e morfologia dos tecidos vegetais, levando as plantas a expressarem diferentes níveis de resistência devido, por exemplo, ao espessamento das células da epiderme ou o maior grau de lignificação (POZZA; POZZA, 2012). Também ativam vias metabólicas de defesa das plantas, como produção de espécies reativas de oxigênio (ERO), induzindo o sistema de alerta a produzir fitoalexinas e compostos estruturais que conferem rigidez à parede celular, além de ativarem a Rubisco (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; GUPTA et al., 2017).

Pesquisas voltadas à avaliação do uso de elicitores minerais como parte integrante de estratégias de manejo de pragas na cultura do algodão são necessárias para gerar novas

informações em relação à compatibilidade e eficiência no manejo de pragas de importantes culturas agrícolas como o algodoeiro. Além disso, o conhecimento sobre as respostas induzidas de defesa proporcionadas pelos elicitores minerais, tais como os efeitos na produção de glândulas de gossipol e crescimento das plantas de algodão e influência sobre os insetos, podem contribuir com o desenvolvimento de estratégias de manejo integrado de pragas com o uso dos elicitores. Portanto, este trabalho avaliou a aplicação de elicitores minerais no desempenho biológico de lagartas de *C. includens* e *H. armigera* em cultivares transgênica Bt e convencional de algodoeiro.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Resistência induzida pela aplicação de fertilizantes minerais em algodoeiro transgênico e convencional a *C. includens* e *H. armigera*

Foi conduzido um experimento de campo entre 21/11/2020 e 26/04/21 no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária, Fazenda Muquém, pertencente à Universidade Federal de Lavras (UFLA). A área experimental fica localizada no município de Lavras, MG, entre as coordenadas 21° 11' 42'' S e 44° 59' 21'' O, com altitude de 910 m. A região apresenta clima subtropical úmido (Cwa), temperado chuvoso (mesotérmico), caracterizado por invernos secos e verões chuvosos. O solo na área experimental é do tipo latossolo vermelho distrófico. As temperaturas máximas e média mensais são de 22 e 19,9°C, respectivamente, e a média anual de precipitação é de 1.486 mm (ALVARES, 2013).

Os tratamentos avaliados neste experimento consistiram em três cultivares de algodão, sendo uma convencional, TMG 62 RF, e duas transgênicas contendo o evento COT102 x MON15985 x MON88913 e tecnologia Bollgard II Roundup Ready Flex[®] (B2RF, Monsanto), que expressam as proteínas transgênicas Cry1Ac e Cry2Ab2 provenientes da bactéria *Bacillus thuringiensis* Berliner, e que conferem resistência às lagartas de *Alabama argillacea*, *Pectinophora gossypiella*, *Heliothis virescens* e *C. includens*. As três cultivares de algodoeiro foram tratadas com dois fertilizantes minerais à base de fosfito de cobre (3,5% Cu; Fulland[®], Satis, Araxá, Brasil) e fosfito de potássio + silício (P 6%, K 15 % e Si 5%, Dephensor[®], Satis, Araxá, Brasil) nas doses de 5 e 3 L ha⁻¹, respectivamente, além da aplicação de água correspondente ao controle (testemunha).

Os tratamentos foram dispostos em campo em delineamento em blocos casualizados, seguindo esquema fatorial 3 x 3 (cultivares x elicitores), totalizando nove tratamentos e seis repetições. As parcelas experimentais foram constituídas por cinco linhas de 5 m espaçadas em

0,5 m entre si, com 15 plantas m⁻¹ linear, totalizando 75 plantas por linha da parcela e 375 plantas por parcela. Em cada parcela foram aplicados os tratamentos via foliar na parte aérea das plantas em um total de cinco aplicações, sendo três durante a fase vegetativa e duas na fase reprodutiva do algodoeiro, com intervalos entre aplicações de sete dias na fase vegetativa e de 15 dias na fase reprodutiva. As aplicações foliares foram realizadas com um pulverizador costal manual (Guarany[®], 04-18.2, São Paulo, Brasil) com capacidade de 6 L e equipado com ponta do tipo cone vazio, utilizando volume de calda proporcional a 300 L ha⁻¹ e pressão média de 30 psi (2 kgf cm⁻²). Foram utilizadas as doses de 150 e 250 ml diluídos em 5 L de água para fosfito de potássio + silício (Dephensor[®], 3 L ha⁻¹) e fosfito de cobre (Fulland[®], 5 L ha⁻¹), respectivamente.

Ao término das aplicações, folhas de cinco plantas de cada tratamento foram coletadas com o auxílio de uma tesoura, acondicionadas em sacos plásticos e transportadas para o Laboratório de Resistência de Plantas a Insetos e Manejo Integrado de Pragas da UFLA. Foram conduzidos bioensaios para avaliação do desempenho biológico das lagartas de *C. includens* e *H. armigera* em condições ambientais controladas (25±2°C, 60±10% U.R., 12C:12E h).

Os bioensaios foram realizados individualmente para cada espécie de inseto. Os tratamentos foram dispostos no laboratório em delineamento inteiramente casualizado, sendo cada repetição formada por cinco placas de Petri, e cada unidade experimental composta por uma lagarta em uma placa de Petri (5 cm diâmetro). As folhas de algodoeiro foram higienizadas com solução de hipoclorito de sódio (0,05%), e em seguida preparados discos foliares com o auxílio de um vazador (5 cm diâmetro), e acondicionados nas placas de Petri forradas com papel filtro umedecido com água destilada. Em seguida, foram liberadas lagartas neonatas de *C. includens* ou *H. armigera*, dependendo do bioensaio, provenientes da colônia de criação, alimentadas com dieta artificial na fase larval e solução de mel (10%) na fase adulta e mantidas em sala climatizada (25±2° C, 60±10% U.R., 12C:12 E h). As placas foram vedadas com papel filme para evitar fuga das lagartas.

Foram preparadas alíquotas dos discos foliares destacadas das mesmas folhas daquelas utilizadas nos bioensaios, isto é, discos que não foram oferecidos às lagartas e utilizados para o cálculo do consumo foliar. Os discos foliares das alíquotas foram armazenados nas mesmas condições experimentais para posterior secagem e uso para subtração da massa seca consumida pelas lagartas. Após sete dias foram avaliados os seguintes parâmetros biológicos nos insetos: sobrevivência, peso e consumo foliar. No experimento com *H. armigera*, foram realizadas duas

trocas dos discos foliares, após quatro e sete dias da montagem, enquanto para *C. includens* foi realizada apenas uma troca de disco foliar durante o bioensaio aos 7 dias.

A avaliação da sobrevivência larval foi realizada de forma visual e com um leve toque da lagarta com um pincel fino. As lagartas vivas foram pesadas com o auxílio de uma balança de precisão (AG200, GEHAKA, São Paulo, Brasil). Os remanescentes da alimentação dos discos foliares consumidos foram armazenados em tubos de fundo chato (2 x 8 cm altura) e secos em estufa a 60°C por 72h, juntamente com as alíquotas. Estas foram previamente pesadas, e então determinou-se o consumo foliar pelas lagartas a partir do peso seco do remanescente subtraído do peso seco da alíquota intacta.

2.2 Tolerância induzida pela aplicação de fertilizantes minerais em algodoeiro transgênico e convencional à herbivoria de *C. includens*

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação e laboratório, de novembro de 2022 a janeiro de 2023. Na casa de vegetação as condições de temperatura eram controladas ($27\pm 5^\circ\text{C}$) e fotoperíodo e umidade relativa natural. O experimento foi instalado na casa de vegetação em delineamento inteiramente casualizado, seguindo esquema fatorial 3 x 2 (elicitores x herbivoria). Os elicitores foram constituídos pelos mesmos produtos descritos anteriormente à base de fosfito Cu e fosfito K + Si, além da testemunha (água). Todos os tratamentos foram avaliados na presença ou ausência de herbivoria por lagartas de *C. includens*. As lagartas utilizadas neste experimento também foram obtidas da colônia de criação do laboratório.

A semeadura do algodoeiro foi realizada em vasos de polietileno de 11 L preenchidos com solo (latossolo vermelho escuro) e esterco na proporção 2:1. Foi utilizada a cultivar TMG 62 Rf (convencional não Bt), sendo semeadas cinco sementes por vaso. Após a germinação, foi realizado o desbaste, mantendo-se duas plantas por vaso. Cada tratamento obteve cinco vasos com duas plantas como repetições, de modo que cada repetição consistiu na média das duas plantas por vaso. Os vasos foram dispostos aleatoriamente na casa de vegetação, sendo a umidade do substrato mantida por meio de irrigações intercaladas.

A aplicação foliar dos tratamentos foi realizada na fase vegetativa do algodoeiro aos 30 dias após a semeadura, com intervalo de sete dias entre as pulverizações, totalizando três aplicações. Foram aplicadas proporcionalmente as mesmas doses dos produtos e volume de aplicação, como descrito no experimento anterior. Após as três aplicações, três lagartas de quinto ínstar de *C. includens* foram transferidas com o auxílio de um pincel fino nas plantas e confinadas nas folhas do terço médio do algodoeiro em gaiolas de tecido *voile* (15 x 10 cm)

presas com arame de torcer no pecíolo. As gaiolas foram mantidas nas plantas até as lagartas atingirem a fase de pupa (~7 dias). As plantas atribuídas à ausência de herbivoria receberam apenas gaiolas de tecido *voile*, sem a presença das lagartas. Após ~30 dias da remoção das gaiolas e das lagartas de *C. includens*, 10 plantas por tratamento foram avaliadas quanto à altura, massa seca da parte aérea, teor de clorofila e densidade de glândulas de gossipol.

A avaliação da altura das plantas foi realizada antes e após as aplicações dos tratamentos e da infestação das lagartas com o auxílio de uma régua, desde a superfície do solo até a inserção da última folha. Para a determinação da massa seca, as plantas foram retiradas cuidadosamente do vaso com o solo bem úmido, embaladas em sacos de papel, secas em estufa de circulação forçada a 60°C por 72 h (TE-394/2, TECNAL, Piracicaba, Brasil), e pesadas com auxílio de uma balança. Para contagem das glândulas de gossipol, uma folha do terço médio das plantas foi destacada com uma tesoura e levadas ao laboratório, onde foram quantificadas sob um microscópio estereoscópio (40x aumento). As folhas foram inspecionadas na parte abaxial e adaxial próximo à nervura central, e com o auxílio de um contador foi registrado o número de glândulas cm⁻². O teor relativo de clorofila foi avaliado antes, durante e após a aplicação dos produtos e da herbivoria, por meio de um medidor portátil SPAD-502 (Konica Minolta Sensing, TECNAL, Piracicaba, Brasil). Foi utilizada a média de três leituras nas folhas mais novas por planta.

2.3 Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados em relação à normalidade dos resíduos e homocedasticidade. Dados que apresentaram distribuição normal foram submetidos à análise de variância e quando significativa as médias dos tratamentos comparadas pelo teste Tukey ($\alpha=0,05$). Dados que não apresentaram normalidade, foram submetidos à análise por meio de modelos lineares generalizados (GLM), com família Poisson e função de ligação log. Foi utilizado o software Statistica v.7 (STATSOFT, 2004).

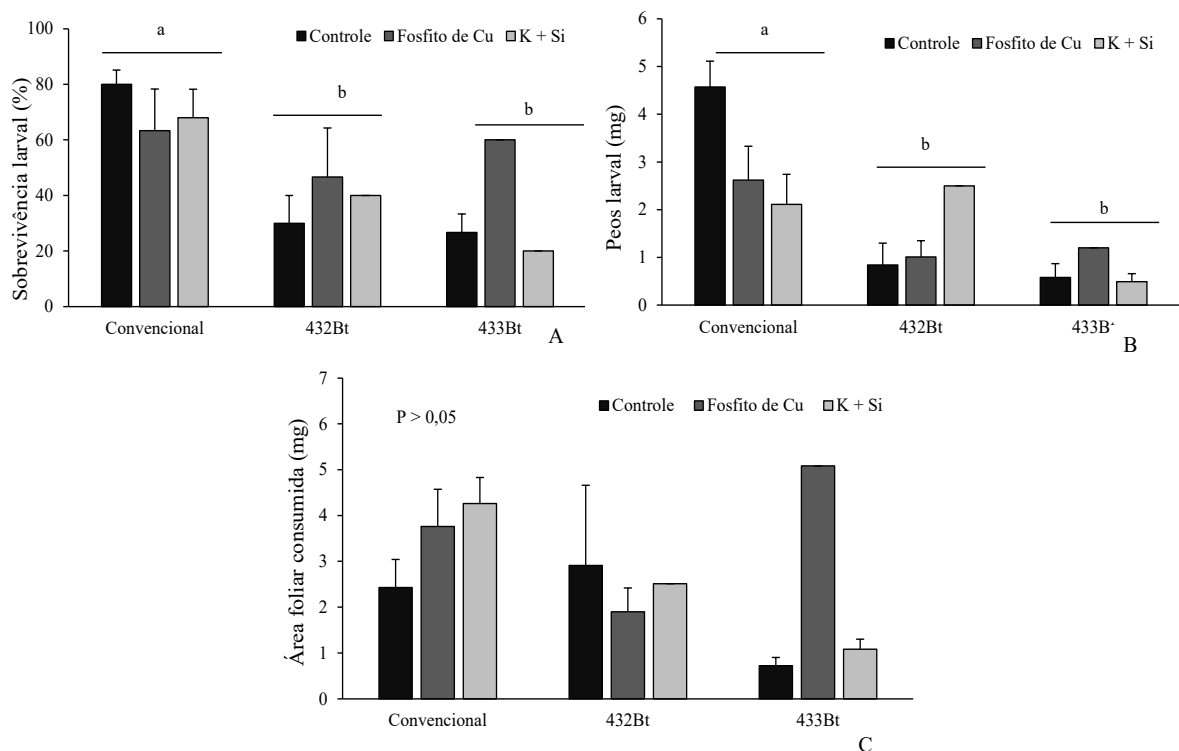
3 RESULTADOS

3.1 Resistência induzida pela aplicação de fertilizantes minerais em algodoeiro transgênico e convencional a *C. includens* e *H. armigera*

Ocorreram diferenças significativas para o efeito de cultivar na sobrevivência ($F = 5,76$; $P = 0,0106$) e peso larval ($F = 7,73$; $P = 0,0003$) de *C. includens*, para o efeito de interação dos fatores foi não significativo ($F = 0,90$; $P = 0,45$). A cultivar convencional proporcionou >70%

de sobrevivência larval, diferindo das cultivares transgênicas (30-40%). O ganho de peso larval também foi menor nas cultivares transgênicas em relação à convencional. Logo, as cultivares transgênicas de algodoeiro no estágio vegetativo apresentam resistência moderada a *C. includens*, e a fertilização com os minerais não afetaram o desempenho biológico das lagartas (Figura 1). Não houve diferenças significativas ($P > 0,05$) para os efeitos de cultivar, fertilização e cultivar x fertilização no consumo foliar de *C. includens*.

Figura 1 - Sobrevivência larval (A), peso larval (B) e consumo foliar (C) de *C. includens* em cultivares de algodoeiro tratadas na fase vegetativa com fertilizantes minerais. Barras seguidas de letras diferentes são significativamente diferentes ($P < 0,05$).

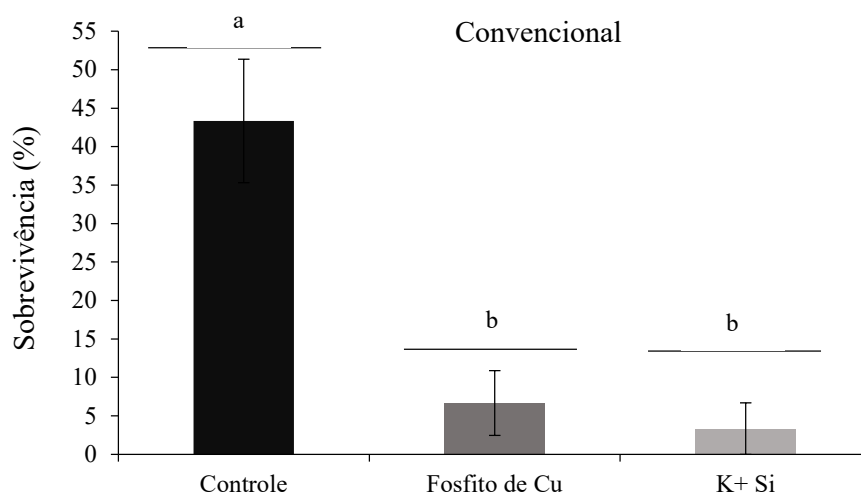


Fonte: Do autor (2023)

Na fase reprodutiva do algodoeiro, houve efeito significativo apenas das cultivares na sobrevivência ($F = 11,10$; $P = 0,0009$) de *C. includens*. A cultivar convencional proporcionou sobrevivência larval de 43%, que diferiu dos materiais transgênicos que ficaram abaixo de 7%. Assim, o peso larval e o consumo foliar foram quantificados apenas para a cultivar convencional sem fertilização (controle) devido à baixa sobrevivência dos indivíduos nos tratamentos com os elicitores minerais; a média do peso larval foi 1,5 mg e consumo foliar de 11,69 mg. Portanto, verifica-se que os efeitos cumulativos das cinco aplicações dos elicitores minerais foram eficientes no controle de lagartas neonatas de *C. includens* na fase reprodutiva

do algodoeiro convencional, com eficiência de controle de 84,62 % quando aplicado fosfito Cu e 92,38 % para fosfito K + Si (Figura 2).

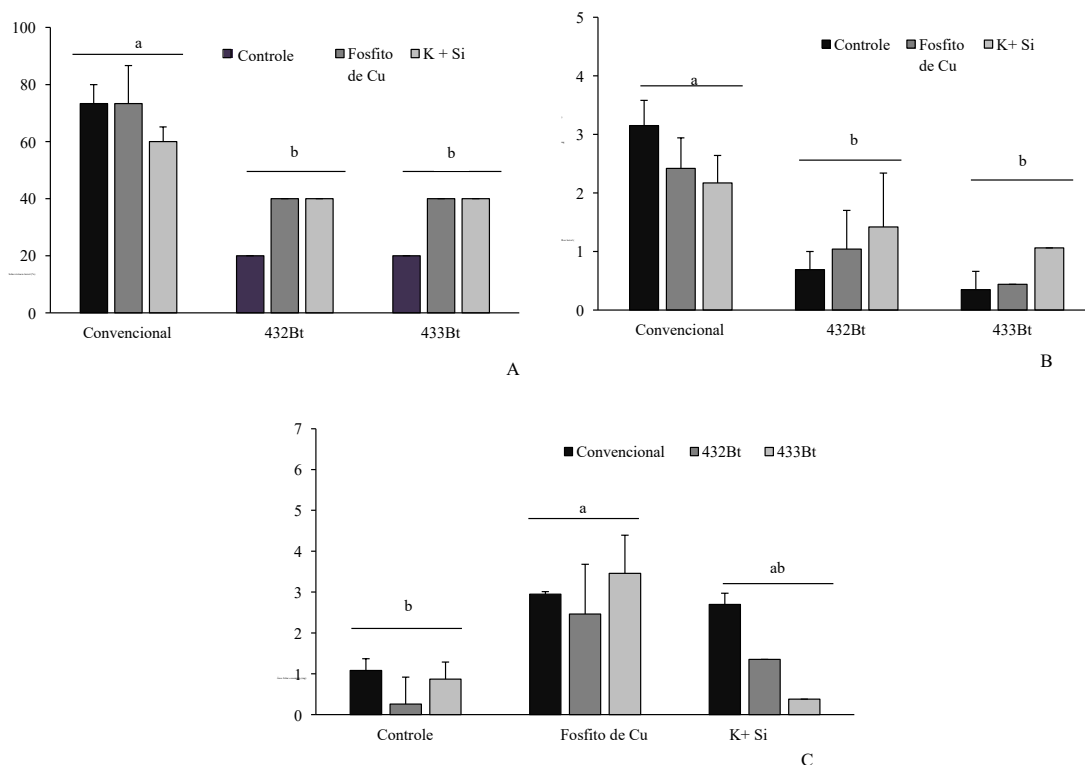
Figura 2 - Sobrevivência larval de *C. includens* em cultivares de algodoeiro tratadas até a fase reprodutiva com fertilizantes minerais. Barras seguidas de letras diferentes significativamente diferentes ($P < 0,05$).



Fonte: Do autor (2023)

Houve diferenças significativas para os efeitos de cultivar na sobrevivência ($F = 18,67$; $P = 0,000$) e peso larval ($F = 7,49$; $P = 0,0003$), e de fertilização no consumo foliar ($F = 5,82$; $P = 0,010$) de *H. armigera*. As cultivares transgênicas causaram maior mortalidade e menor ganho de peso das lagartas na fase vegetativa do algodoeiro. A fertilização com fosfito Cu proporcionou maior consumo foliar, diferindo da testemunha, enquanto fosfito K + Si não diferiu de ambos os tratamentos. Portanto, verifica-se que as cultivares transgênicas no estágio vegetativo têm moderada resistência a *H. armigera* e a fertilização com fosfito Cu estimulou o consumo foliar das lagartas (Figura 3).

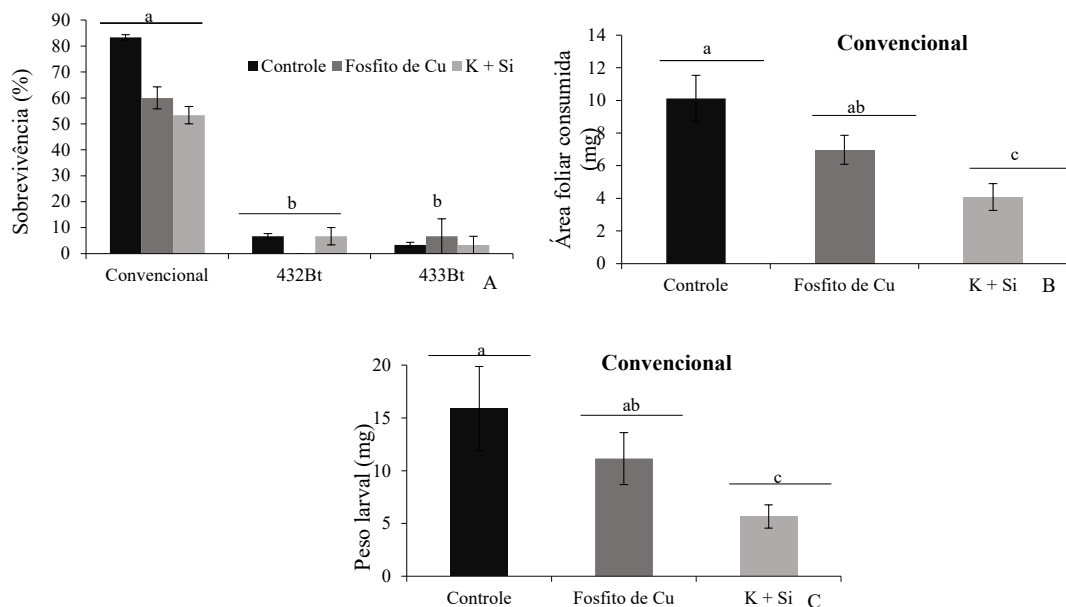
Figura 3 - Sobrevivência larval (A), peso larval (B) e consumo foliar (C) de *H. armigera* em cultivares de algodoeiro tratadas na fase vegetativa com fertilizantes minerais. Barras seguidas de letras diferentes são significativamente diferentes ($P < 0,05$).



Fonte: Do autor (2023)

A sobrevivência larval de *H. armigera* na fase reprodutiva do algodoeiro foi afetada significativamente ($F = 32,14$; $P = 0,000$) pelas cultivares; a cultivar convencional diferiu das transgênicas e proporcionou sobrevivência de 83,33%, enquanto as cultivares Bt ficaram abaixo de 7%. A aplicação foliar de fosfito K + Si promoveu redução do consumo foliar (4,08 mg) e conseqüentemente refletiu na diminuição do peso larval de *H. armigera* (5,66 mg) na cultivar convencional, diferindo dos demais tratamentos que foram similares entre si ($F = 26,93$; $P = 0,0001$). No tratamento controle, o consumo foliar foi de 10,12 mg e com aplicação de fosfito Cu, 6,97 mg; o peso larval de *H. armigera* foi de 15,88 e 11,14 mg nesses tratamentos, respectivamente (Figura 4). Assim, verifica-se que fosfito K + Si reduziu em média 30 e 31% do consumo e peso de *H. armigera*, respectivamente.

Figura 4 - Sobrevivência larval (A), peso larval (B) e consumo foliar (C) de *H. armigera* em cultivares de algodoeiro tratadas até a fase reprodutiva com fertilizantes minerais. Barras seguidas de letras diferentes são significativamente diferentes ($P < 0,05$).

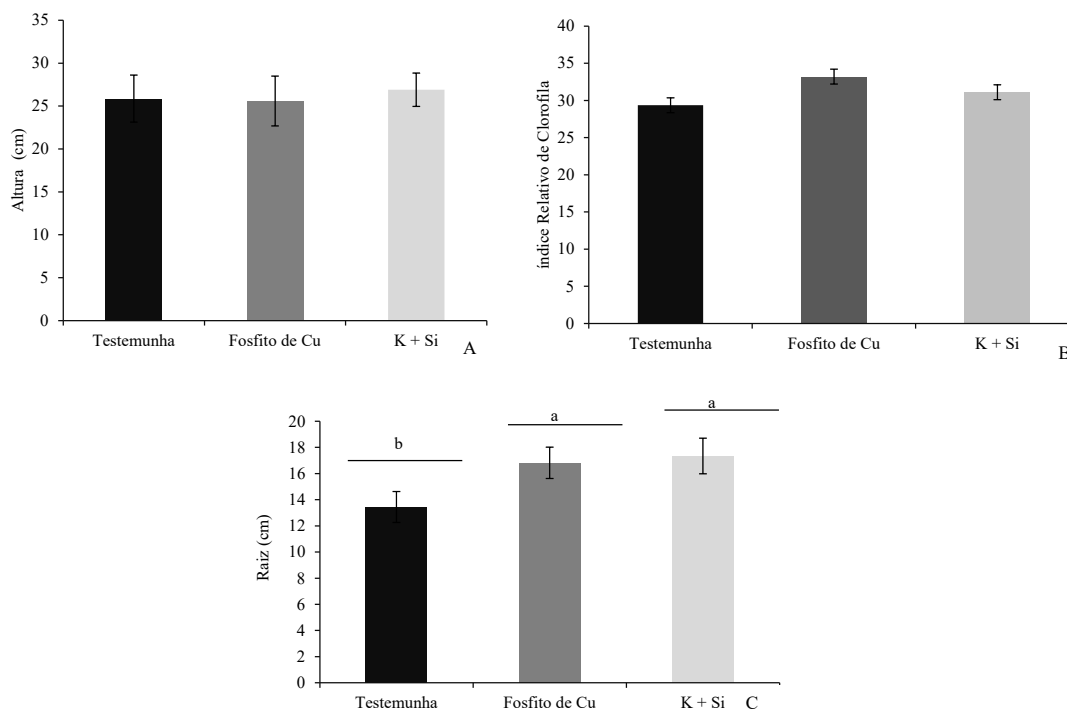


Fonte: Do autor (2023)

3.2 Tolerância induzida pela aplicação de fertilizantes minerais em algodoeiro transgênico e convencional à herbivoria de *C. includens*

Para a avaliação da altura e do índice relativo de clorofila das plantas de algodão, não foram observadas diferenças significativas ($P > 0,05$) entre os tratamentos. Por outro lado, para o crescimento radicular houve diferença ($F = 5,11$; $P = 0,014$) para a aplicação dos elicitores minerais. Os produtos à base de fosfito K + Si e fosfito Cu não diferiram entre si, sendo ambos superiores à testemunha, indicando que a aplicação de ambos os produtos estimulou o crescimento radicular do algodoeiro, com acréscimo médio de 20 % (Figura 5).

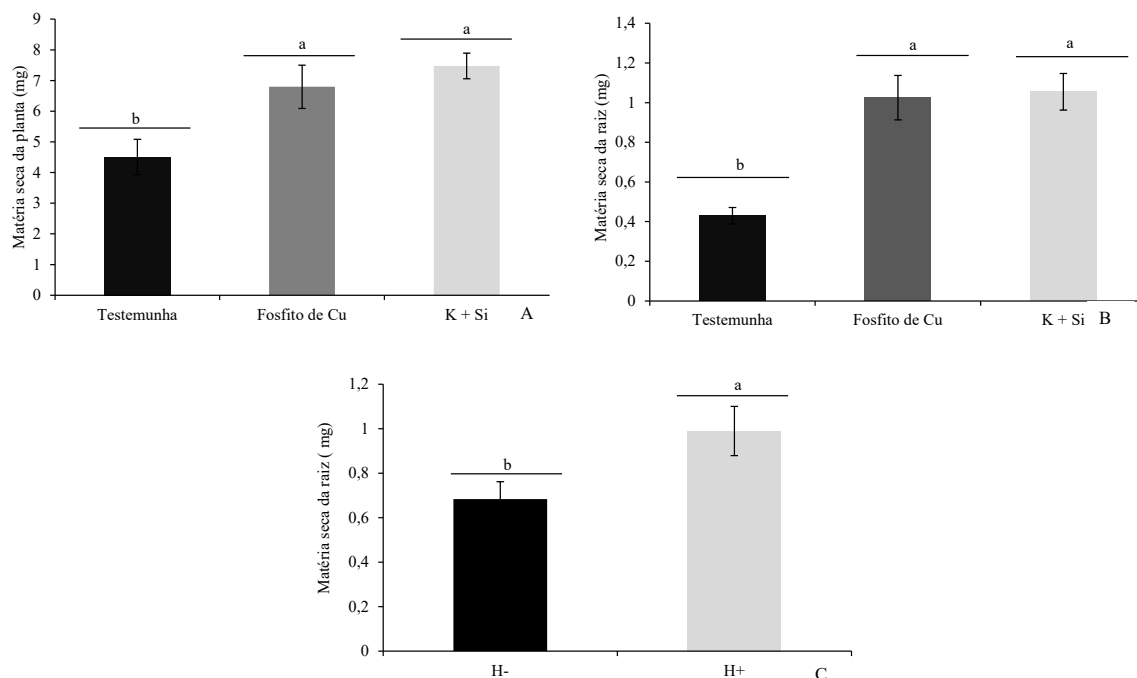
Figura 5 - Altura de plantas (A), índice relativo de clorofila (B) e tamanho de raiz (C) de algodoeiro tratado com fertilizantes minerais sob herbivoria ou não de *C. includens*. Barras seguidas de letras diferentes são significativamente diferentes ($P < 0,05$).



Fonte: Do autor (2023)

Foram observados efeitos significativos ($F = 7,27$; $P = 0,003$) para a aplicação dos produtos à base de fosfito K + Si e fosfito Cu na matéria seca da planta, os quais foram estatisticamente superiores à testemunha e similares entre si. Para a massa seca da raiz, os efeitos foram significativos para os fatores elicitor e herbivoria de forma isolada. A aplicação dos produtos dobrou a matéria seca da raiz, e a herbivoria de *C. includens* estimulou o aumento da massa seca da raiz das plantas (Figura 6).

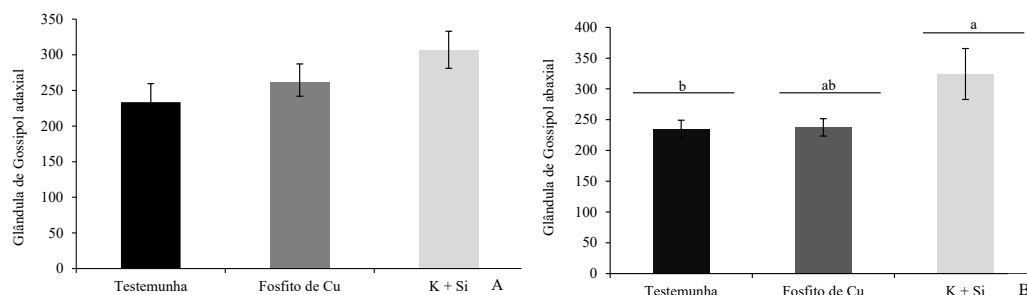
Figura 6 - Massa seca da parte aérea (A) e raiz de algodoeiro tratado com fertilizantes minerais (B) e massa seca da raiz de algodoeiro sob herbivoria de *C. includens* (C). Barras seguidas de letras diferentes são significativamente diferentes ($P < 0,05$).



Fonte: Do autor (2023)

A aplicação de fosfito K + Si estimulou a produção de glândulas de gossipol na superfície abaxial das folhas de algodoeiro ($F = 4,08$; $P = 0,013$), sendo estatisticamente superior à testemunha. Por outro lado, o fertilizante à base de fosfito Cu não diferiu dos demais tratamentos, com produção intermediária de glândulas de gossipol foliar na face abaxial. Para a produção de glândulas na face adaxial, não ocorreram diferenças estatísticas entre os tratamentos ($F = 1,10$; $P = 0,30$) (Figura 7).

Figura 7 - Número de glândulas de gossipol por cm^2 na face adaxial (A) e abaxial (B) de folhas de algodoeiro tratado com fertilizantes minerais. Barras seguidas de letras diferentes são significativamente diferentes ($P < 0,05$).



Fonte: Do autor (2023)

4 DISCUSSÃO

Neste trabalho foi constatado que as cultivares transgênicas de algodoeiro no estágio vegetativo têm resistência moderada a *C. includens* e *H. armigera*, e a fertilização com os produtos não afetam o desempenho biológico das lagartas, exceto para o consumo foliar de *H. armigera* que aumentou no tratamento com fosfito de cobre. Na fase reprodutiva da cultura, a cultivar convencional proporcionou sobrevivência larval de 43%, que diferiu dos materiais transgênicos que ficaram abaixo de 7%. A sobrevivência larval de *H. armigera* na fase reprodutiva do algodoeiro foi afetada significativamente pelas cultivares; a cultivar convencional diferiu das transgênicas e proporcionou sobrevivência de 83,33%, enquanto as cultivares Bt ficaram abaixo de 7%. A aplicação foliar de fosfito K + Si promoveu redução do consumo foliar e conseqüentemente refletiu na diminuição do peso larval de *H. armigera* na cultivar convencional. Foram observados efeitos significativos para a aplicação dos produtos à base de fosfito K + Si e fosfito Cu na matéria seca da planta, os quais foram estatisticamente superiores à testemunha e similares entre si. Para a massa seca da raiz, os efeitos foram significativos para os fatores elicitor e herbivoria de forma isolada. A aplicação dos produtos dobrou a matéria seca da raiz, e a herbivoria de *C. includens* estimulou o aumento da massa seca da raiz das plantas.

Os resultados obtidos no primeiro experimento sugerem que as cultivares de algodão BRS 432B2RF e BRS 433B2RF, que contêm tecnologia Bollgard II® e que expressam as proteínas Cry1Ac e Cry2Ab2, proporcionam moderada resistência ao ataque de *C. includens* e *H. armigera* na fase vegetativa e alta resistência na fase reprodutiva em termos de mortalidade larval. Em comparação com o material convencional, os transgênicos Bt também promoveram

em geral redução do peso das lagartas sobreviventes. Resultados similares foram observados por HORIKOSHI et al., (2021), que ao avaliarem a eficácia da proteína Cry1Ac em plantas de soja para diversos lepidópteros, constaram que a proteína Bt forneceu alto nível de proteção contra *C. includens* e *Helicoverpa* spp; além disso, o percentual de desfolha foi menor em relação aos materiais convencionais para ambas as pragas.

Em um estudo realizado no Paquistão com algodoeiro e *H. armigera*, foi demonstrado que a maior expressão da proteína Cry1Ac nas plantas ocorreu 60 dias após a semeadura em folhas superiores, que diminuiu nas folhas das partes inferiores do dossel. Também se verificou forte correlação positiva entre os níveis da proteína Cry1Ac e a mortalidade dos insetos (AHMAD et al., 2019). A investigação dos mecanismos de resistência dos insetos a proteína Cry2Ab2 é raramente estudada. Recentemente, Tang et al. (2023) avaliaram a resistência de *H. armigera* à proteína Cry2Ab (96-2Ab60) selecionada em laboratório, e constataram uma razão de resistência de 778,84 vezes em comparação com a uma linhagem suscetível do inseto (96S). Verificaram que a resistência era controlada por mais de um loco. A linhagem de *H. armigera* resistente a Cry2Ab também apresentou alta resistência cruzada às toxinas Cry1Ac, Cry1Fa, Cry1Aa, Cry2Aa e baixa resistência cruzada a Cry1Ab e Cry1Ca. Para *S. frugiperda* e *C. includens* submetidas às tecnologias Bollgard II e WideStrike, verificou-se que os eventos transgênicos foram altamente eficazes no controle de lagartas neonatas. Porém, com o avanço do desenvolvimento larval, aumenta tolerância a sobrevivência dos insetos e contribuem a evolução da resistência (SORGATTO; BERNARDI; OMOTO, 2015).

Na fase vegetativa do algodoeiro, foi observado que a fertilização com fosfite Cu (Fulland[®]) proporcionou maior consumo foliar das lagartas de *H. armigera*, diferindo da testemunha, enquanto fosfite de K + Si (Dephensor[®]) não diferiu de ambos os tratamentos. Todo o desenvolvimento larval de *H. armigera* é influenciado pela qualidade nutricional das plantas hospedeiras, como a sobrevivência, a duração e o número de ínstar larvais, a intensidade do consumo larval, a fecundidade e a longevidade da fase adulta (SUZANA et al., 2015). Pode-se inferir que a fertilização com fosfite Cu no presente estudo elevou os níveis de resistência do algodoeiro, fazendo com que as lagartas de *H. armigera* compensassem esses mecanismos de defesa, aumentando a taxa de consumo foliar, embora não ocorreu ganho de peso larval proporcional. Espécies de lepidópteros adquiriram ao longo da evolução com as plantas grande capacidade para digerir diversos compostos primários e secundários presentes no alimento, e os mecanismos de resistência presentes nas plantas podem interferir diretamente na sobrevivência, crescimento e peso dos insetos (SARFRAZ; DOSDALL; KEDDIE, 2006).

Os efeitos biológicos em *H. armigera* sugerem a indução de compostos antinutritivos ou antidigestivos com a aplicação de fosfito Cu. Para *C. includens*, não houve efeito da aplicação dos fertilizantes minerais na fase vegetativa do algodoeiro.

Na fase reprodutiva do algodoeiro convencional, as cinco aplicações cumulativas dos elicitores minerais influenciaram significativamente a taxa de sobrevivência de *C. includens*, de modo que no tratamento controle (testemunha) houve 43% de sobrevivência e com os elicitores as taxas ficaram abaixo de 7%, isto é, uma eficiência média de controle de quase 90%. Para *H. armigera*, a aplicação seriada dos elicitores até a fase reprodutiva das plantas resultou em menor consumo foliar e ganho de peso larval, principalmente com fosfito K + Si, enquanto fosfito Cu causou efeitos intermediários, não diferindo tanto da testemunha quanto do outro elicitor. Os fosfitos e silicatos (fonte de Si) são indutores de resistência de plantas que possuem função de ativadores bioquímicos de enzimas de defesa e efeito na integridade da parede celular, o que dificulta a alimentação de herbívoros (CRUZ et al., 2013). Além do efeito dos produtos, verifica-se que o algodoeiro na fase reprodutiva não é considerado uma planta hospedeira que proporciona ótimo desenvolvimento de *C. includens* por produzir substâncias antinutricionais que podem interferir negativamente no crescimento e prolongar o período larval (MACEDO; CUNHA; VENDRAMIM, 2007).

A utilização de macro e micronutrientes é essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, pois participam de processos fisiológicos e bioquímicos, e podem atuar como indutores de resistência a patógenos e insetos pragas, afetando a rigidez da parede celular e a integridade física da estrutura da membrana (GUPTA et al., 2017). Os micronutrientes são requeridos em menores quantidades que os macronutrientes; no entanto, são os mais envolvidos na indução de resistência. Dentre eles, destaca-se o cobre (Cu) que participa de trocas gasosas, metabolismo e condução de nutrientes (MARSCHNER, 2012). A aplicação de fontes de Cu pode ativar vias metabólicas de defesa das plantas, estimulando a produção de espécies reativas de oxigênio (ERO), ativando o sistema de alerta e induzindo a produção de fitoalexinas e compostos estruturais como a lignina, que confere resistência e rigidez à parede celular (GUPTA et al., 2017). Esses processos e mecanismos químicos e morfológicos de defesa do algodoeiro provavelmente influenciaram na conversão da massa foliar consumida em ganho de biomassa em *H. armigera*, uma vez que plantas lignificadas conferem maior resistência mecânica, dificultando a alimentação de herbívoros e diluindo a concentração de nutrientes nos tecidos vegetais (BEDIN et al., 2020).

Os efeitos em *H. armigera* diferiram em função da aplicação dos produtos na fase reprodutiva, pois neste estágio fenológico fosfito K + Si proporcionou menor consumo foliar e conseqüentemente menor peso larval. Para a cultura do algodão, fontes foliares de Si são aplicadas principalmente na forma de silicato de potássio; por ser uma cultura que responde de forma intermediária ao acúmulo de Si, a aplicação foliar é uma alternativa à aplicação via solo (*drench*), que possui absorção mais lenta (LAANE, 2018). A deposição de Si na parede celular das folhas forma uma barreira mecânica que dificulta a desfolha por insetos, refletindo na assimilação de nutrientes e conversão do alimento em ganho de peso (BAKHAT et al., 2018; PERDOMO et al., 2022). Vários trabalhos comprovaram a eficiência do uso de Si e fontes silicatadas na indução de resistência de plantas e proteção a insetos mastigadores (GORDY et al., 2015; NASCIMENTO et al., 2018; ACEVEDO et al., 2021; NAGARATNA et al., 2022).

Poucos estudos foram conduzidos até o presente com aplicação de fosfitos e a avaliação da eficiência no desempenho biológico e sobrevivência de insetos-praga em função dos efeitos induzidos de defesa nas plantas. Em um estudo recente utilizando diferentes indutores de resistência, incluindo fosfito de potássio, microrganismos e ácido salicílico na cultura do pimentão, foi comprovado que os tratamentos induziram a síntese de enzimas antioxidantes (POX e CAT) e suprimiram significativamente a população da mosca-branca *Bemisia tabaci* em comparação ao controle. Além disso, as porcentagens de redução da população de mosca-branca foram maiores com os microrganismos e fosfito de potássio, além de melhorarem o rendimento da cultura (ZAYED et al., 2022).

MULUGETA et al. (2019), avaliando o efeito de fosfito de potássio, observaram que o tratamento reduziu a densidade populacional das larvas da traça-da-batata nas plantas de batata e sua aplicação não afetou o desempenho dos parasitoides. Em outro trabalho realizado com insetos mastigadores avaliando a sobrevivência e desenvolvimento de *Leptinotarsa decemlineata*, constatou-se que plantas tratadas com fosfito foram menos adequadas à praga nos experimentos de campo e laboratório (PATTERSON; ALYOKHIN, 2014). Com base na contagem de diferentes formas biológicas da praga, as aplicações de fosfito não afetaram a oviposição dos adultos, porém, ocorreram efeitos notavelmente negativos nas larvas. Esses dados corroboram os de COLLINS (1993) que descreveu reduções semelhantes nas populações de várias espécies de insetos.

Em relação aos efeitos dos elicitores minerais na capacidade de crescimento e tolerância de algodoeiro à herbivoria de lagartas de *C. includens*, as aplicações de fosfito K + Si e fosfito Cu não influenciaram no crescimento da parte aérea das plantas, teor de clorofila e de glândulas

de gossipol contabilizadas na face adaxial das folhas. Para a altura das plantas, os resultados obtidos corroboram os de CUONG et al. (2017), de maneira que a aplicação via foliar de Si na cultura do arroz não influenciou nesse parâmetro de crescimento vegetal. No entanto, a aplicação de ambos os elicitores minerais no presente estudo promoveram acréscimos na massa seca das plantas, tanto no crescimento, quanto matéria seca da raiz. Esses resultados podem ser explicados pelo fato da aplicação foliar possibilitar máxima absorção de nutrientes pelas raízes devido ao aumento da taxa fotossintética. Assim, a complementação nutricional via foliar é uma alternativa sustentável complementar para o manejo de pragas e doenças por ativar as vias de defesa das plantas (INOCÊNCIO et al., 2012).

O cobre (Cu) é um ativador de enzimas que têm importante papel na fotossíntese, por meio do efeito sobre a formação da clorofila, atuando na síntese de aminoácidos, proteínas, óleos e ceras e do processo de lignificação da parede celular (MARSCHNER, 2012). Quando absorvido, o Cu é redistribuído para órgãos em crescimento das plantas. Em plantas de algodão, esse micronutriente é requerido principalmente para a formação do caule, ramos, folhas e raiz; na fase reprodutiva é quando o Cu é mais absorvido, sendo destinado para o caroço do algodão (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Produtos foliares à base de Cu são mais utilizados para a indução de resistência a doenças, no entanto, as vias de sinalização ativadas também podem afetar insetos herbívoros.

Além do Cu, o uso de fertilizantes foliares que contêm silício (Si) na formulação estão sendo cada vez mais utilizados na agricultura. Apesar de não ser classificado como um nutriente essencial, o Si é considerado um elemento benéfico por induzir resistência a pragas e doenças, e contribuir para a tolerância de plantas a estresses por fatores abióticos (REYNOLDS; KEEPING; MEYER, 2009). O Si estimula o crescimento compensatório das plantas pelo aumento da taxa fotossintética, manutenção da clorofila, realocação de recursos das raízes para os brotos, e atraso na senescência foliar nas folhas mais velhas de plantas cultivadas com deficiência de nitrogênio (ISLAM; MOORE; JOHNSON, 2022). O potássio (K) não desempenha função estrutural na planta, mas é responsável pela ativação de inúmeras enzimas, dentre elas a Rubisco, enzima-chave no processo fotossintético (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Vários trabalhos com fontes silicatadas e fosfitos já foram realizados para o controle de doenças, enquanto poucas informações existem quanto aos efeitos via planta em insetos fitófagos. No entanto, é elucidado que mecanismos de defesa similares ativados para patógenos também minimizam os efeitos da herbivoria. BEDIN et al. (2020) avaliaram a aplicação foliar

de Cu na fortificação foliar à ferrugem-asiática na soja e verificaram acúmulo nas folhas e nos grãos e reduções da progressão e severidade da doença, refletindo no aumento do rendimento de grãos. A aplicação de Cu também promoveu acréscimo no teor de lignina nas folhas.

A aplicação de fosfitos de K, Cu e Mn reduziu a severidade da antracnose na cultura da soja e aumentou o teor de lignina e as atividades das enzimas superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POX) e catalase (CAT), sendo uma alternativa no manejo da doença (SILVA JUNIOR et al., 2021). Isso também foi observado na cultura do feijão para o controle da antracnose, de modo que os tratamentos com fosfito aumentaram a atividade de várias enzimas, incluindo SOD, POX, quitinase e β -1,3-glucanase, as concentrações de lignina e leve aumento nos níveis de fenólicos solúveis (COSTA et al., 2018). A associação da aplicação de fosfitos e fungicidas na proteção ao oídio na cultura da soja reduziu a severidade da doença e aumentou as concentrações de fosfito em todas as folhas analisadas (BEDIN et al., 2020; DA SILVA JUNIOR et al., 2021; VILELA et al., 2022).

A aplicação foliar de fontes contendo Si, utilizando silicatos solúveis como o de potássio, tem levado a resultados benéficos e promissores. Nas culturas da soja, milho e algodão, silicato de potássio elevou as variáveis fotossintéticas e a produtividade das culturas, elevando seu rendimento, destacando-se como uma alternativa à adubação convencional (SOUZA JÚNIOR et al., 2022). O silicato de potássio, em comparação com outras fontes estudadas para a cultura do algodão, contribuiu para o aumento da matéria seca, capulho e sementes, diminuição da fluorescência inicial e aumento da clorofila, melhorando as características fotossintéticas (SOUZA JÚNIOR et al., 2021). Fontes silicatadas mitigam os efeitos nocivos tanto da deficiência quanto da toxicidade de B, aumentando a produção de biomassa da planta inteira e os níveis de clorofilas a, b e total. Além disso, reduziu a fluorescência inicial e máxima, melhorando assim a eficiência quântica do fotossistema II (SOUZA JÚNIOR et al., 2019).

A massa seca da raiz do algodoeiro foi maior na presença de herbivoria de *C. includens* em relação às plantas não atacadas no presente trabalho. Essas respostas de compensação de crescimento são em função ao ataque de insetos que ativam mecanismos específicos de reconhecimento de padrões moleculares associados a injúrias (*damage-associated molecular pattern*, DAMPs) e padrões moleculares associados ao herbívoro (*herbivore-associated molecular pattern*, HAMPs) (LOO et al., 2022). O reconhecimento desses elicitores químicos e a consequente transdução de sinais podem ter estimulado o crescimento da raiz em busca de água e nutrientes para compensar o efeito negativo da herbivoria e tolerar a desfolha,

estimulando o crescimento e refletindo em ganho de biomassa (CHEN; GOLS; BENREY, 2015). Fontes de fosfito possuem alta estabilidade química nos tecidos vegetais e possuem efeitos sistêmicos e mobilidade em toda planta, facilitando a sua distribuição, incluindo as raízes (GÓMEZ-MERINO; TREJO-TÉLLEZ, 2015).

A produção de glândulas de gossipol na face abaxial das plantas de algodão foi estimulada pela aplicação de fosfito K + Si, enquanto para fosfito Cu a síntese foi intermediária, não diferindo do outro elicitor mineral nem da testemunha. O gossipol é um aldeído sesquiterpênico que atua como inibidor de proteinases; ao ser ingerido por insetos herbívoros, o gossipol interfere no processo de degradação de proteínas no intestino médio, de várias espécies de lepidópteros. São considerados antimetabólicos por promoverem deficiência proteica nos insetos, o que prejudica o seu crescimento, desenvolvimento e reprodução devido à deficiência de aminoácidos essenciais (SILVA FILHO; FALCO, 2000).

Os terpenos são substâncias que desempenham diferentes funções nas plantas, desde a produção de moléculas mais simples (mono e sesquiterpenos) que são voláteis às que participam de substâncias estruturais como pigmentos (carotenoides), e na formação de fitormônios (brassinosteroides, ácido abscísico e giberelinas), (KORTBEEK; VAN DER GRAGT; BLEEKER, 2019). Em artrópodes, os terpenos agem no sistema nervoso, especificamente nos receptores da enzima acetilcolinesterase, do ácido gama-aminobutírico, octopamina e tiromina. Podem ocasionar mortalidade ou gerar efeitos negativos na biologia dos insetos. Além disso, os terpenos possuem atividade fago-inibidora ao se associar a substâncias como os taninos, e emitem compostos voláteis repelentes (VIEGAS JÚNIOR, 2003; BLENAU; RADEMACHER; BAUMANN, 2012). Portanto, é provável que os efeitos negativos na sobrevivência de *C. includens* e no consumo foliar e ganho de peso de *H. armigera* no primeiro experimento após cinco aplicações de fosfito K + Si e fosfito Cu até a fase reprodutiva do algodoeiro sejam em função do aumento do número de glândulas de gossipol, ou mesmo do aumento na síntese de terpenos e/ou outros metabólitos secundários nas plantas.

Sabe-se que o Si estimula as respostas de defesa das plantas moduladas pelo ácido jasmônico (YE et al., 2013). Esse fitormônio afeta positivamente a transcrição do gene delta-cadineno sintase A, que codifica a primeira enzima na via biossintética do gossipol (MAO et al., 2006). Além disso, a produção de gossipol no algodoeiro difere em função da espécie, variedade e tecido da planta (FRANKFATER; DOWD; TRIPLETT, 2009a). É comprovado que os fosfitos são eficazes contra diferentes tipos de estresses bióticos e abióticos, semelhante

a outros indutores de resistência de plantas que ativam diferentes vias de sinalização, as quais muitas vezes se sobrepõem entre si (GÓMEZ-MERINO; TREJO-TÉLLEZ, 2015).

5 CONCLUSÃO

Não está totalmente elucidado por quais vias metabólicas e pela participação de quais fitormônios os fosfitos atuam via planta para desencadear repostas induzidas de defesa a insetos. Provavelmente a fertilização via solo e foliar com esses elicitores minerais podem influenciar a síntese de outros terpenos e demais metabólitos secundários em algodoeiro e outras plantas, merecendo futuras investigações em nível bioquímico e molecular para melhor entender como os fosfitos influenciam as defesas induzidas. Esses conhecimentos certamente auxiliarão no seu posicionamento estratégico em programas de manejo integrado de pragas para induzir resistência e tolerância nas culturas agrícolas e mitigar os estresses causados pela herbivoria dos insetos-praga. A condução de trabalhos em campo com a aplicação dos fosfitos em algodoeiro e a avaliação da resistência e tolerância às infestações naturais de pragas em cenários de outros estresses bióticos e abióticos darão subsídios sobre o uso desses elicitores em sistemas de produção agrícola sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- ABREU, R. A. A.; ASSIS, F. A.; SOUZA, B. H. S.; NASCIMENTO, A. M.; LATINI, A. O.; PIO, L. A. S. Effects of silicon application on the biochemistry of passion fruit and performance of *Dione juno juno* (Lepidoptera: Nymphalidae). **Arthropod-Plant Interactions**, v. 15, n. 3, p. 417–429, 7 jun. 2021. doi: 10.1007/s11829-021-09827-3.
- ACEVEDO, F. E.; PEIFFER, M.; RAY, S.; TAN, C.-W.; FELTON, G. W. Silicon-Mediated Enhancement of Herbivore Resistance in Agricultural Crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 11 fev. 2021. doi: 10.3389/fpls.2021.631824.
- ACHALEKE, J.; BRÉVAULT, T. Inheritance and stability of pyrethroid resistance in the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Central Africa. **Pest Management Science**, p. n/a-n/a, 2009. doi: 10.1002/ps.1843.
- AHMAD, S.; CHEEMA, H. M. N.; KHAN, A. A.; KHAN, R. S. A.; AHMAD, J. N. Resistance status of *Helicoverpa armigera* against Bt cotton in Pakistan. **Transgenic Research**, v. 28, n. 2, p. 199–212, 21 abr. 2019. doi: 10.1007/s11248-019-00114-9.
- ALCANTRA, E.; CAMPOS MORAES, J.; AUAD, A. M.; SILVA, A. A.; ALVARENGA, R. Resistência induzida ao pulgão-do-algodoeiro em cultivares de algodão colorido Induced resistance to aphid cotton on colored cotton cultivars. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 483–491, 2019. doi: 10.19084/rca.17183.
- ALFORD, R. A.; HAMMOND, A. M. Plusiinae (Lepidoptera: Noctuidae) Populations in Louisiana Soybean Ecosystems as Determined with Looplure-Baited Traps. **Journal of Economic Entomology**, v. 75, n. 4, p. 647–650, 1 ago. 1982. doi: 10.1093/jee/75.4.647.
- ALHOUSARI, F.; GREGER, M. Silicon and Mechanisms of Plant Resistance to Insect Pests. **Plants**, v. 7, n. 2, p. 33, 13 abr. 2018. doi: 10.3390/plants7020033.
- ALI, A.; CHOUDHURY; AFROZA; RUMMANA; AHMAD; ZUBAIR; RAHMAN; KHAN, F.; RAHMAN, F.; AHMAD, S. K. Some Biological Characteristics of *Helicoverpa armigera* on Chickpea. **Tunisian Journal of Plant Protection**, v. 99, n. 1, 2009.
- ALVARES, C. A. ; S. J. L. ; S. P. C. ; G. J. L. M. ; S. G. Köppen's climate classification map for Brazil. Em: **Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart**. 6. ed. [s.l: s.n.]22 p. 711–728. 2013.
- AMPA-ASSOCIAÇÃO MATO-GROSSENSE DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. HISTÓRIA DO; ALGODÃO. **História do Algodão**.
- ANDAMA, J. B.; MUJIONO, K.; HOJO, Y.; SHINYA, T.; GALIS, I. Nonglandular silicified trichomes are essential for rice defense against chewing herbivores. **Plant, Cell & Environment**, v. 43, n. 9, p. 2019–2032, 6 set. 2020. doi: 10.1111/pce.13775.
- ANDRADE, K.; BUENO, A. de F.; DA SILVA, D. M.; STECCA, C. dos S.; PASINI, A.; DE OLIVEIRA, M. C. N. Bioecological characteristics of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different hosts. **Austral Entomology**, v. 55, n. 4, p. 449–454, nov. 2016. doi: 10.1111/aen.12208.

ARAÚJO, L.; PINTO, F. A. M. F.; LACONSKI, J. M. O.; NOGUEIRA, P. H. da S.; DOS SANTOS PADILHA, G.; EBERHARDT, P. E. R. Formulações de fosfitos para o controle de cancro europeu da macieira. **Agropecuária Catarinense**, v. 35, n. 2, p. 37–43, 31 ago. 2022. doi: 10.52945/rac.v35i2.1457.

ARAÚJO, L.; VALDEBENITO-SANHUEZA, R. M.; STADNIK, M. J. Avaliação de formulações de fosfito de potássio sobre *Colletotrichum gloeosporioides* in vitro e no controle pós-infeccional da mancha foliar de *Glomerella* em macieira. **Trans/Form/Ação**, v. 35, n. 1, fev. 2010. doi: 10.1590/S1982-56762010000100010.

ÁVILA CRÉBIO JOSÉ; VITAL, T. G. Ocorrência, aspectos biológicos, danos e estratégias de manejo de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) nos sistemas de produção agrícolas. **Circular técnico Embrapa**, n. ISSN 1517-4557, p. 1–12, 2013.

BAKHAT, H. F.; BIBI, N.; ZIA, Z.; ABBAS, S.; HAMMAD, H. M.; FAHAD, S.; ASHRAF, M. R.; SHAH, G. M.; RABBANI, F.; SAEED, S. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. **Crop Protection**, v. 104, p. 21–34, fev. 2018. doi: 10.1016/j.cropro.2017.10.008.

BALDIN, E. L. L.; BENTIVENHA, J. P. F. Fatores que afetam a expressão da resistência. Em: BALDIN, E. L. L.; VENDRAMIM, J. D.; LOURENÇÃO, A. L. (Ed.). **Resistência de plantas 589 a insetos- Fundamentos e Aplicações**. [s.l: s.n.] p. 323–356. 2019.

BALDIN, E. L. L.; LOURENÇÃO, A. L.; SCHLICK-SOUZA, E. C. Outbreaks of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) in common bean and castor bean in São Paulo State, Brazil. **Bragantia**, v. 73, n. 4, p. 458–465, 28 out. 2014. doi: 10.1590/1678-4499.0277.

BEDIN, E.; CAVERZAN, A.; SILVEIRA, D. C.; CHAVARRIA, G. Foliar fortification of Copper (Cu) in *Glycine max* L. for the protection against Asian Soybean Rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P.Syd.). **Plant Science Today**, v. 7, n. 4, 1 out. 2020. doi: 10.14719/pst.2020.7.4.737.

BELTRÃO, N. E. M. ;; SOUZA, J. G. de. Fisiologia e ecofisiologia do algodoeiro. Em: **In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Algodão: tecnologia de produção**. [s.l: s.n.] p. 54–75. 2011.

BERNARDI, O.; MALVESTITI, G. S.; DOURADO, P. M.; OLIVEIRA, W. S.; MARTINELLI, S.; BERGER, G. U.; HEAD, G. P.; OMOTO, C. Assessment of the high-dose concept and level of control provided by MON 87701 × MON 89788 soybean against *Anticarsia gemmatilis* and *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Pest Management Science**, v. 68, n. 7, p. 1083–1091, jul. 2012a. doi: 10.1002/ps.3271.

BERNARDI, O.; MALVESTITI, G. S.; DOURADO, P. M.; OLIVEIRA, W. S.; MARTINELLI, S.; BERGER, G. U.; HEAD, G. P.; OMOTO, C. Assessment of the high-dose concept and level of control provided by MON 87701 × MON 89788 soybean against *Anticarsia gemmatilis* and *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Pest Management Science**, v. 68, n. 7, p. 1083–1091, jul. 2012b. doi: 10.1002/ps.3271.

BLENAU, W.; RADEMACHER, E.; BAUMANN, A. Plant essential oils and formamidines as insecticides/acaricides: what are the molecular targets? **Apidologie**, v. 43, n. 3, p. 334–347, 17 maio 2012. doi: 10.1007/s13592-011-0108-7.

BOBROWSKI, V. L.; FIUZA, L. M.; PASQUAL, G.; ZANETTINI, M. H. B. Genes de *Bacillus thuringiensis*: uma estratégia para conferir resistência a insetos em plantas. **Ciência Rural**, v. 34, n. ISSN 0103-8478, p. 843–850, 2003.

BOIÇA JÚNIOR, A.; FREITAS, M.; FREITAS, C.; DI BELLO, M.; ULHOA LA, P.; PASCUTTI, T.; SOUZA, Bhs. Respostas induzidas de defesa das plantas e implicações no manejo integrado de pragas. Em: RC, : : CASTILHO; BARILLI DR, T. C. (Ed.). **Tópicos em Entomologia Agrícola - x**. Gráfica Mu ed. [s.l: s.n.] p. 97–122. 2019.

BOLLER, T.; FELIX, G. A Renaissance of Elicitors: Perception of Microbe-Associated Molecular Patterns and Danger Signals by Pattern-Recognition Receptors. **Annual Review of Plant Biology**, v. 60, n. 1, p. 379–406, 1 jun. 2009. doi: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105346.

BONALDO, S. M.; PASCHOLATI, S. F.; ROMEIRO, R. S. Indução de resistência: noções básicas e perspectivas. Em: **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. 2005. BOREGAS, K. G. B.; MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; WILSON, G.; FERNANDES. Estádio de adaptação de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em hospedeiros alternativos. **Bragantia**, v. 72, p. 61–70, 2013.

BOYLSTON, E. K.; HEBERT, J. J.; HENSARLING, T. P.; BRADOW, J. M.; THIBODEAUX, D. P. Role of silicon in developing cotton fibers. **Journal of Plant Nutrition**, v. 13, n. 1, p. 131–148, jan. 1990a. doi: 10.1080/01904169009364063.

BOYLSTON, E. K.; HEBERT, J. J.; HENSARLING, T. P.; BRADOW, J. M.; THIBODEAUX, D. P. Role of silicon in developing cotton fibers. **Journal of Plant Nutrition**, v. 13, n. 1, p. 131–148, 1 jan. 1990b. doi: 10.1080/01904169009364063.

BRAVO, A.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. **Toxicon**, v. 49, n. 4, p. 423–435, mar. 2007. doi: 10.1016/j.toxicon.2006.11.022.

BRAVO, A.; LIKITVIVATANAVONG, S.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 41, n. 7, p. 423–431, jul. 2011a. doi: 10.1016/j.ibmb.2011.02.006.

BRAVO, A.; LIKITVIVATANAVONG, S.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 41, n. 7, p. 423–431, jul. 2011b. doi: 10.1016/j.ibmb.2011.02.006.

BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. Cadeia Produtiva do Algodão. **Serie Agronegócios**, v. 4, p. 237–256, 2007.

BUSOLI, A. C.; GROGOLLI, J. F. J.; FRAGA, D. F.; SOUZA, L. A.; FUNICHELLO, M.; NAIS, J.; SILVA, E. A. Atualidades no MIP algodão no cerrado brasileiro. Em: **In: Tópicos em Entomologia Agrícola IV**. [s.l: s.n.] p. 117–138. 2011.

BUSS, N.; RESTELATTO, S. S.; CONTINI, R. E.; BUENO, A. de F.; BERNARDI, O.; BOFF, M. I. C.; FRANCO, C. R. Comparative susceptibility of *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Erebidae) and *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera:

Noctuidae) to insecticides. **Ciência Rural**, v. 52, n. 8, 2022. doi: 10.1590/0103-8478cr20210047.

BUSTOS-SEGURA, C.; GONZÁLEZ-SALAS, R.; BENREY, B. Early damage enhances compensatory responses to herbivory in wild lima bean. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 29 nov. 2022. doi: 10.3389/fpls.2022.1037047.

CALABRESE, E. J. Hormesis: A Conversation with a Critic. **Environmental Health Perspectives**, v. 117, n. 9, p. 1339–1343, set. 2009. doi: 10.1289/ehp.0901002.

CALABRESE, E. J.; BALDWIN, L. A. Hormesis: The Dose-Response Revolution. **Annual Review of Pharmacology and Toxicology**, v. 43, n. 1, p. 175–197, abr. 2003. doi: 10.1146/annurev.pharmtox.43.100901.140223.

CAMARGO, L. C. M. DE; GARCIA, D. D. B.; SAAB, O. J. G. A.; PASINI, A.; SARTI, D. A.; DIAS, C. T. D. S. Insecticide application speed in the control of lepidopteran pests in soybean. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 72–80, mar. 2020. doi: 10.1590/1983-21252020v33n108rc.

CARVALHO. **Manual do algodoeiro**. 1996.

CASTIGLIONI, E.; PERINI CLÉRISON, R.; CHIARAVALLE, W.; ARNEMANN JONAS, A.; UGALDE, G.; GUEDES JERSON, V. Primer registro de ocorrência de *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera: Noctuidae) en soja, en Uruguay. **Agrociencia Uruguay**, v. 20, n. 1, p. 31–35, 2016. doi: 10.2477/vol20iss1pp31-35.

CAVALCANTI, A. M.; DOS SANTOS, G. F. A indústria têxtil no BRASIL: uma análise da importância da competitividade frente ao contexto mundial. **Exacta**, v. 20, n. 3, p. 706–726, 30 jun. 2022. doi: 10.5585/exactaep.2021.17784.

CHEN, Y. H.; GOLS, R.; BENREY, B. Crop Domestication and Its Impact on Naturally Selected Trophic Interactions. **Annual Review of Entomology**, v. 60, n. 1, p. 35–58, 7 jan. 2015. doi: 10.1146/annurev-ento-010814-020601.

CONAB. **Perpectiva para a agropecuária 2018/2019**. p. 1–140, 2018.

CORRÊA, J. R. V. **Algodoeiro: informações básicas para seu cultivo**, 1989.

COSTA, B. H. G.; DE RESENDE, M. L. V.; MONTEIRO, A. C. A.; RIBEIRO JÚNIOR, P. M.; BOTELHO, D. M. dos S.; SILVA, B. M. da. Potassium phosphites in the protection of common bean plants against anthracnose and biochemical defence responses. **Journal of Phytopathology**, v. 166, n. 2, p. 95–102, fev. 2018. doi: 10.1111/jph.12665.

COSTA, J. N.; C., A. F. A.; SANTANA, J. C. F.; COSTA, I. L. L.; WANDERELY, M. J. R.; SANTANA, J. C. S. Técnicas de colheita, processamento e armazenamento do algodão. Campina Grande: Embrapa Algodão, 14p. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 87), 2005.p. 14, 2005.

CRICKMORE, N.; BERRY, C.; PANNEERSELVAM, S.; MISHRA, R.; CONNOR, T. R.; BONNING, B. C. A structure-based nomenclature for *Bacillus thuringiensis* and other

bacteria-derived pesticidal proteins. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 186, p. 107438, nov. 2021. doi: 10.1016/j.jip.2020.107438.

CRUZ, M. F. A. da; RODRIGUES, F. Á.; POLANCO, L. R.; CURVÊLO, C. R. da S.; NASCIMENTO, K. J. T.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Inducers of resistance and silicon on the activity of defense enzymes in the soybean-*Phakopsora pachyrhizi* interaction. **Bragantia**, v. 72, n. 2, p. 162–172, 29 jul. 2013. doi: 10.1590/S0006-87052013005000025.

CTNBIO. **Plantas Geneticamente Modificadas aprovadas para Comercialização**. 2019.

CUONG, T. X.; ULLAH, H.; DATTA, A.; HANH, T. C. Effects of Silicon-Based Fertilizer on Growth, Yield and Nutrient Uptake of Rice in Tropical Zone of Vietnam. **Rice Science**, v. 24, n. 5, p. 283–290, set. 2017. doi: 10.1016/j.rsci.2017.06.002.

CZEPAK, C.; ALBERNAZ, K. C.; VIVAN, L. M.; GUIMARÃES, H. O.; CARVALHAIS, T. Primeiro registro de ocorrência de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 1, p. 110–113, 2013. doi: 10.1590/S1983-40632013000100015.

DA SILVA JUNIOR, M. B.; DE RESENDE, M. L. V.; POZZA, E. A.; RESENDE, A. R.; VASCONCELOS, V. A. M.; MONTEIRO, A. C. A.; SILVEIRA, G. C. D.; DOS SANTOS BOTELHO, D. M. Phosphites for the management of anthracnose in soybean pods. **Journal of Plant Pathology**, v. 103, n. 2, p. 611–617, 1 maio 2021. doi: 10.1007/s42161-021-00747-y.

DALIO, R. J. D. ; RIBEIRO JUNIOR, P. M.; RESENDE, M. L. V.; SILVA, A. C. ; BLUMER; S.; PEREIRA, V. F. ; OSWALD, W.; PASCHOLATI, S. F. P. . . O triplo modo de ação dos fosfitos em plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 20, p. 206–243, 2012.

DE FREITAS BUENO, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R. The Old World Bollworm in the Neotropical Region: The Experience of Brazilian Growers with *Helicoverpa Armigera*; **Outlooks on Pest Management**, v. 25, n. 4, p. 261–264, 1 ago. 2014. doi: 10.1564/v25_aug_04.

DE FREITAS BUENO, R. C. O.; DE FREITAS BUENO, A.; MOSCARDI, F.; POSTALI PARRA, J. R.; HOFFMANN-CAMPO, C. B. Lepidopteran larva consumption of soybean foliage: basis for developing multiple-species economic thresholds for pest management decisions. **Pest Management Science**, v. 67, n. 2, p. 170–174, fev. 2011. doi: 10.1002/ps.2047.

DE FREITAS, M. M.; DE SOUZA, B. H. S.; NOGUEIRA, L.; DI BELLO, M. M.; BOIÇA JÚNIOR, A. L. Soybean defense induction to *Spodoptera cosmioides* herbivory is dependent on plant genotype and leaf position. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 12, n. 1, p. 85–96, 4 fev. 2017. doi: 10.1007/s11829-017-9556-y.

DE OLIVEIRA, R. S.; PEÑAFLORES, M. F. G. V.; GONÇALVES, F. G.; SAMPAIO, M. V.; KORNDÖRFER, A. P.; SILVA, W. D.; BENTO, J. M. S. Silicon-induced changes in plant volatiles reduce attractiveness of wheat to the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* and

attract the parasitoid *Lysiphlebus testaceipes*. **PLOS ONE**, v. 15, n. 4, p. e0231005, 3 abr. 2020. doi: 10.1371/journal.pone.0231005.

DE SOUZA JÚNIOR, J. P.; DE MELLO PRADO, R.; FERREIRA DINIZ, J.; DE FARIAS GUEDES, V. H.; DA SILVA, J. L. F.; ROQUE, C. G.; DE CÁSSIA FELIX ALVAREZ, R. Foliar Application of Innovative Sources of Silicon in Soybean, Cotton, and Maize. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, n. 3, p. 3200–3211, 1 set. 2022. doi: 10.1007/s42729-022-00878-w.

DE SOUZA JUNIOR, J. P.; DE MELLO PRADO, R.; SOARES, M. B.; DA SILVA, J. L. F.; DE FARIAS GUEDES, V. H.; DOS SANTOS SARAH, M. M.; CAZETTA, J. O. Effect of Different Foliar Silicon Sources on Cotton Plants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, n. 1, p. 95–103, 2 mar. 2021. doi: 10.1007/s42729-020-00345-4.

DE SOUZA JUNIOR, P.; DE MELLO PRADO, J.; MACHADO DOS SANTOS SARAH, R. M.; FELISBERTO, G. Silicon mitigates boron deficiency and toxicity in cotton cultivated in nutrient solution. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 182, n. 5, p. 805–814, 9 out. 2019. doi: 10.1002/jpln.201800398.

DIXON, R. A.; HARRISON, M. J.; LAMB, C. J. EARLY EVENTS IN THE ACTIVATION OF PLANT DEFENSE RESPONSES. **Annual Review of Phytopathology**, v. 32, n. 1, p. 479–501, set. 1994. doi: 10.1146/annurev.py.32.090194.002403.

DJIHINTO, A. C.; KATARY, A.; PRUDENT, P.; VASSAL, J.-M.; VAISSAYRE, M. Variation in Resistance to Pyrethroids in *Helicoverpa armigera* From Benin Republic, West Africa. **Journal of Economic Entomology**, v. 102, n. 5, p. 1928–1934, 1 out. 2009. doi: 10.1603/029.102.0525.

DOS SANTOS, M. . C.; JUNQUEIRA, A. R.; SÁ, V. M. de; ZANÚNCIO; SERRÃO, J. No Title. **ISJ-Invertebrate Survival Journal**, v. 12 n° 1, n. ISSN 1824-307X, p. 158–165, 2015.

DOSTER, M. A. Quantification of Lignin Formation in Almond Bark in Response to Wounding and Infection by *Phytophthora* Species. **Phytopathology**, v. 78, n. 4, p. 473, 1988. doi: 10.1094/Phyto-78-473.

EPSTEIN, E. SILICON. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, n. 1, p. 641–664, jun. 1999. doi: 10.1146/annurev.arplant.50.1.641.

ETIENNE, P.; TROUVERIE, J.; HADDAD, C.; ARKOUN, M.; YVIN, J.-C.; CAÏUS, J.; BRUNAUD, V.; LAÏNÉ, P. Root Silicon Treatment Modulates the Shoot Transcriptome in *Brassica napus* L. and in Particular Upregulates Genes Related to Ribosomes and Photosynthesis. **Silicon**, v. 13, n. 11, p. 4047–4055, 19 nov. 2021. doi: 10.1007/s12633-020-00710-z.

FICHHOF, W. H.; SILVA, R. de A.; OLIVEIRA, L. S. de; SILVA, R. M. da. Management of Biostimulant and Silicon in Mineral Nutrition and Quality of Cotton Fiber. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 10, p. 476, 15 set. 2018. doi: 10.5539/jas.v10n10p476.

FRANKFATER, C. R.; DOWD, M. K.; TRIPLETT, B. A. Effect of elicitors on the production of gossypol and methylated gossypol in cotton hairy roots. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 98, n. 3, p. 341–349, 2009a. doi: 10.1007/s11240-009-9568-0.

FRANKFATER, C. R.; DOWD, M. K.; TRIPLETT, B. A. Effect of elicitors on the production of gossypol and methylated gossypol in cotton hairy roots. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 98, n. 3, p. 341–349, 28 set. 2009b. doi: 10.1007/s11240-009-9568-0.

FREITAS, L. M. DE; JUNQUEIRA, A. M. R.; FILHO, M. M. Potencial de uso do silício no manejo integrado da traça- das- crucífera , *Plutella xylostella* , em plantas de repolho. v. 25, p. 8–13, 2012.

FUNICHELLO, M.; FRAGA, D. F.; PRADO, E. P.; AGUIRRE-GIL, O. J.; BUSOLI, A. C. Vertical distribution of *Crysoideixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) in transgenic and conventional cotton cultivars. **Revista de Ciências Agroveterinarias**, v. 18, n. 1, p. 150–153, 2019. doi: 10.5965/223811711812019150.

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

GOATER, B.; RONKAY, L.; FIBIGER, M. Catocalinae & Plusiinae, Noctuidae Europeae. **Entomological Press**, v. 10, p. 452, 2003.

GÓMEZ-MERINO, F. C.; TREJO-TÉLLEZ, L. I. Biostimulant activity of phosphite in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 82–90, nov. 2015. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.035.

GONÇALVES, R. D. S.; BITENCOURT, M. B.; REZENDE, L. B. Análise de competitividade da cotonocultura na região do triangulo mineiro /MG – aplicação da matriz de análise de política. Em: Sistemas Agroalimentares e Cadeias Agroindustriais, DORES DO

INDAIA - MG - BRASIL. **Anais...** DORES DO INDAIA - MG - BRASIL: 2006.

GORDY, J. W.; LEONARD, B. R.; BLOUIN, D.; DAVIS, J. A.; STOUT, M. J. Comparative Effectiveness of Potential Elicitors of Plant Resistance against *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in Four Crop Plants. **PLOS ONE**, v. 10, n. 9, p. e0136689, 2 set. 2015. doi: 10.1371/journal.pone.0136689.

GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSIB, M. L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 2, p. 305–310, 2002. doi: 10.1590/s1519-566x2002000200019.

GREENE, G. L.; LEPPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean Caterpillar: A Rearing Procedure and Artificial Medium¹²³. **Journal of Economic Entomology**, v. 69, n. 4, p. 487–488, 1 ago. 1976. doi: 10.1093/jee/69.4.487.

GUEDES, R. N. C.; CUTLER, G. C. Insecticide-induced hormesis and arthropod pest management. **Pest Management Science**, v. 70, n. 5, p. 690–697, maio 2014. doi: 10.1002/ps.3669.

GUEDES, R. N. C.; RIX, R. R.; CUTLER, G. C. Pesticide-induced hormesis in arthropods: Towards biological systems. **Current Opinion in Toxicology**, v. 29, p. 43–50, mar. 2022. doi: 10.1016/j.cotox.2022.02.001.

GUPTA, N.; DEBNATH, S.; SHARMA, S.; SHARMA, P.; PUROHIT, J. Role of Nutrients in Controlling the Plant Diseases in Sustainable Agriculture. Em: **Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture**. Singapore: Springer Singapore, 2017. p. 217–262. 2017.

HALL, C. R.; DAGG, V.; WATERMAN, J. M.; JOHNSON, S. N. Silicon Alters Leaf Surface Morphology and Suppresses Insect Herbivory in a Model Grass Species. **Plants**, v. 9, n. 5, p. 643, 19 maio 2020. doi: 10.3390/plants9050643.

HETTWER, B. L.; GODOY, D. N.; HANICH, M. R.; CAYE, M.; MOREIRA, R. P.; LUCHESE, E. F.; ZANELLA, R.; BERNARDI, O.; MELO, A. A. Influence of adjuvants added to teflubenzuron spray on resistant and susceptible strains of the soybean looper *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae). **Ciência Rural**, v. 53, n. 2, 2023. doi: 10.1590/0103-8478cr20210710.

HIROSSE, E. H.; CRESTE, J. E.; CUSTÓDIO, C. C.; MACHADO-NETO, N. B. In vitro growth of sweet potato fed with potassium phosphite. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, n. 1, 29 nov. 2012. doi: 10.4025/actasciagron.v34i1.10810.

HODSON, M. J.; WHITE, P. J.; MEAD, A.; BROADLEY, M. R. Phylogenetic Variation in the Silicon Composition of Plants. **Annals of Botany**, v. 96, n. 6, p. 1027–1046, 1 nov. 2005a. doi: 10.1093/aob/mci255.

HODSON, M. J.; WHITE, P. J.; MEAD, A.; BROADLEY, M. R. Phylogenetic Variation in the Silicon Composition of Plants. **Annals of Botany**, v. 96, n. 6, p. 1027–1046, 1 nov. 2005b. doi: 10.1093/aob/mci255.

HORIKOSHI, R. J.; DOURADO, P. M.; BERGER, G. U.; DE S. FERNANDES, D.; OMOTO, C.; WILLSE, A.; MARTINELLI, S.; HEAD, G. P.; CORRÊA, A. S. Large-scale assessment of lepidopteran soybean pests and efficacy of Cry1Ac soybean in Brazil. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 15956, 5 ago. 2021. doi: 10.1038/s41598-021-95483-9.

HUSSAIN, S.; SHUXIAN, L.; MUMTAZ, M.; SHAFIQ, I.; IQBAL, N.; BRESTIC, M.; SHOAI, M.; SISI, Q.; LI, W.; MEI, X.; BING, C.; ZIVCAK, M.; RASTOGI, A.; SKALICKY, M.; HEJNAK, V.; WEIGUO, L.; WENYU, Y. Foliar application of silicon improves stem strength under low light stress by regulating lignin biosynthesis genes in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Journal of Hazardous Materials**, v. 401, 5 jan. 2021. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123256.

INOCÊNCIO, M. F.; RESENDE, Á. V. de; NETO, A. E. F.; VELOSO, M. P.; FERRAZ, F. M.; HICKMANN, C. Resposta da soja à adubação com zinco em solo com teores acima do nível crítico. **Pesq. agropec. bras**, v. 47, p. 1550–1554, 2012.

ISLAM, T.; MOORE, B. D.; JOHNSON, S. N. Silicon fertilisation affects morphological and immune defences of an insect pest and enhances plant compensatory growth. **Journal of Pest Science**, 13 jan. 2022. doi: 10.1007/s10340-022-01478-4.

JENSEN, R. L.; NEWSOM, L. D.; GIBBENS, J. The Soybean Looper: Effects of Adult Nutrition on Oviposition, Mating Frequency, and Longevity. **Journal of Economic Entomology**, v. 67, n. 4, p. 467–470, 1 ago. 1974. doi: 10.1093/jee/67.4.467.

JOHNSON, S. N.; REYNOLDS, O. L.; GURR, G. M.; ESVELD, J. L.; MOORE, B. D.; TORY, G. J.; GHERLEND, A. N. When resistance is futile, tolerate instead: silicon promotes plant compensatory growth when attacked by above- and belowground herbivores. **Biology Letters**, v. 15, n. 7, p. 20190361, 31 jul. 2019. doi: 10.1098/rsbl.2019.0361.

KARBAN, R.; MYERS, J. H. Induced Plant Responses to Herbivory. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 20, n. 1, p. 331–348, nov. 1989. doi: 10.1146/annurev.es.20.110189.001555.

KLOTZBÜCHER, T.; KLOTZBÜCHER, A.; KAISER, K.; VETTERLEIN, D.; JAHN, R.; MIKUTTA, R. Variable silicon accumulation in plants affects terrestrial carbon cycling by controlling lignin synthesis. **Global Change Biology**, v. 24, n. 1, p. e183–e189, jan. 2018. doi: 10.1111/gcb.13845.

KODAMA, C.; DEGRANDE, P. E.; DE SOUZA, E. P.; MELO, E. P. Impacto da Desfolha Artificial no Desenvolvimento, Produtividade e Qualidade de Fibra do Algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) Convencional e Adensado. **Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 25, n. 5- esp, p. 714–723, 14 mar. 2022. doi: 10.17921/1415-6938.2021v25n5-esp714-723.

KORNDÖRFER, G. H. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**, 2004.

KORNDÖRFER, G. H. ; D. Uso de Silício na Agricultura. **Informações Agronômicas**, p. 9–11, 2007.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. **GPSi-ICIAG-UFU**. 3. ed, p. 23, 2004.

KORTBEEK, R. W. J.; VAN DER GRAGT, M.; BLEEKER, P. M. Endogenous plant metabolites against insects. **European Journal of Plant Pathology**, v. 154, n. 1, p. 67–90, 14 maio 2019. doi: 10.1007/s10658-018-1540-6.

KOSTIC, L.; NIKOLIC, N.; BOSNIC, D.; SAMARDZIC, J.; NIKOLIC, M. Silicon increases phosphorus (P) uptake by wheat under low P acid soil conditions. **Plant and Soil**, v. 419, n. 1–2, p. 447–455, 1 out. 2017. doi: 10.1007/s11104-017-3364-0.

LAANE, H.-M. The Effects of Foliar Sprays with Different Silicon Compounds. **Plants**, v. 7, n. 2, p. 45, 7 jun. 2018. doi: 10.3390/plants7020045.

LARA, F. M. **Princípios de Resistência de plantas a insetos**. Ícone Edit ed. 1978.

LIANG, Y.; RICHARD, M. N.; GONG, H.; SONG, A. **Silicon in Agriculture**, 1961.

- LIMA, A. F.; BERNAL, J.; VENÂNCIO, M. G. S.; DE SOUZA, B. H. S.; CARVALHO, G. A. Comparative Tolerance Levels of Maize Landraces and a Hybrid to Natural Infestation of Fall Armyworm. **Insects**, v. 13, n. 7, p. 651, 19 jul. 2022. doi: 10.3390/insects13070651.
- LIMA, T. H. **Genética populacional de *Gossypium hirsutum* raça marie galante no Brasil segundo condições de estresse hídrico e fertilidade do solo**. 2017. Instituto Federal Goiano Campus Urutaí, 2017.
- LIU, J.; ZHU, J.; ZHANG, P.; HAN, L.; REYNOLDS, O. L.; ZENG, R.; WU, J.; SHAO, Y.; YOU, M.; GURR, G. M. Silicon Supplementation Alters the Composition of Herbivore Induced Plant Volatiles and Enhances Attraction of Parasitoids to Infested Rice Plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 19 jul. 2017. doi: 10.3389/fpls.2017.01265.
- LOO, E. P.-I.; TAJIMA, Y.; YAMADA, K.; KIDO, S.; HIRASE, T.; ARIGA, H.; FUJIWARA, T.; TANAKA, K.; TAJI, T.; SOMSSICH, I. E.; PARKER, J. E.; SAIJO, Y. Recognition of Microbe- and Damage-Associated Molecular Patterns by Leucine-Rich Repeat Pattern Recognition Receptor Kinases Confers Salt Tolerance in Plants. **Molecular Plant-Microbe Interactions®**, v. 35, n. 7, p. 554–566, jul. 2022. doi: 10.1094/MPMI-07-21-0185-FI.
- MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 8, p. 392–397, ago. 2006. doi: 10.1016/j.tplants.2006.06.007.
- MACEDO, L. P. M.; CUNHA, U. S. DA; VENDRAMIM, J. D. GOSSIPOL: FATOR DE RESISTÊNCIA A INSETOS-PRAGA. **campo digital**, v. 2, n. 34–42, 2007.
- MACIAS-BOBADILLA, I.; VARGAS-HERNANDEZ, M.; GUEVARA-GONZALEZ, R. G.; RICO-GARCIA, E.; OCAMPO-VELAZQUEZ, R. V.; AVILA-JUAREZ, L.; TORRES-PACHECO, I. Hormetic and xenohormetic potential in the phytobiome of the center of origin. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 67, n. 5, p. 1331–1344, 3 jun. 2020. doi: 10.1007/s10722-020-00912-9.
- MALAVOLTA, E. ; VITTI, G. C. ; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. 1997.
- MALINGA, L. N.; LAING, M. D. Efficacy of Biopesticides in the Management of the Cotton Bollworm, *Helicoverpa armigera* (Noctuidae), under Field Conditions. **Insects**, v. 13, n. 8, p. 673, 27 jul. 2022. doi: 10.3390/insects13080673.
- MAO, Y.; LU, S.; WANG, L.; CHEN, X. Biosynthesis of gossypol in cotton. **CABI Reviews**, v. 2006, jan. 2006. doi: 10.1079/PAVSNNR20061049.
- MARSCHNER H. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. [s.l.] Elsevier, 2012.
- MCDONALD, A. E.; GRANT, B. R.; PLAXTON, W. C. PHOSPHITE (PHOSPHOROUS ACID): ITS RELEVANCE IN THE ENVIRONMENT AND AGRICULTURE AND INFLUENCE ON PLANT PHOSPHATE STARVATION RESPONSE. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 10, p. 1505–1519, 31 out. 2001. doi: 10.1081/PLN-100106017.
- MINGOTTI DIAS, P.; DE SOUZA LOUREIRO, E.; AMORIM PESSOA, L. G.; MENDES DE OLIVEIRA NETO, F.; DE SOUZA TOSTA, R. A.; TEODORO, P. E. Interactions between Fungal-Infected *Helicoverpa armigera* and the Predator *Chrysoperla externa*. **Insects**, v. 10, n. 10, p. 309, 20 set. 2019. doi: 10.3390/insects10100309.

- MIR, R. A.; BHAT, B. A.; YOUSUF, H.; ISLAM, S. T.; RAZA, A.; RIZVI, M. A.; CHARAGH, S.; ALBAQAMI, M.; SOFI, P. A.; ZARGAR, S. M. Multidimensional Role of Silicon to Activate Resilient Plant Growth and to Mitigate Abiotic Stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 23 mar. 2022. doi: 10.3389/fpls.2022.819658.
- MO, J.; MCDUGALL, S.; BEAUMONT, S.; MUNRO, S.; STEVENS, M. M. Effects of simulated seedling defoliation on growth and yield of cotton in southern New South Wales. **Crop and Pasture Science**, v. 69, n. 9, p. 915, 2018. doi: 10.1071/CP18093.
- MOOR, U.; PÖLDMA, P.; TÕNUTARE, T.; KARP, K.; STARAST, M.; VOOL, E. Effect of phosphite fertilization on growth, yield and fruit composition of strawberries. **Scientia Horticulturae**, v. 119, n. 3, p. 264–269, fev. 2009. doi: 10.1016/j.scienta.2008.08.005.
- MOSCARDI, F. ; BUENO, A. F. ; SOSA-GÓMEZ, D. R.; ROGGIA, S. ; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; POMARI, A. F. ; CORSO, I. C. ; YANO, S. A. C. Soja – Manejo Integrado de Pragas e outros Artrópodes-praga. Em: **In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊAFERREIRA, B. S.; MOSRCADI, F.** [s.l: s.n.] p. 213–309. 2012.
- MULUGETA, T.; MULATU, B.; TEKIE, H.; YESUF, M.; ANDREASSON, E.; ALEXANDERSSON, E. Phosphite alters the behavioral response of potato tuber moth (*Phthorimaea operculella*) to field-grown potato. **Pest Management Science**, v. 75, n. 3, p. 616–621, mar. 2019. doi: 10.1002/ps.5152.
- NAGARATNA, W.; KALLESHWARASWAMY, C. M.; DHANANJAYA, B. C.; SHARANABASAPPA; PRAKASH, N. B. Effect of Silicon and Plant Growth Regulators on the Biology and Fitness of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*, a Recently Invaded Pest of Maize in India. **Silicon**, v. 14, n. 3, p. 783–793, 3 fev. 2022. doi: 10.1007/s12633-020-00901-8.
- NASCIMENTO, A. M.; ASSIS, F. A.; MORAES, J. C.; SOUZA, B. H. S. Silicon application promotes rice growth and negatively affects development of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). **Journal of Applied Entomology**, v. 142, n. 1–2, p. 241–249, fev. 2018. doi: 10.1111/jen.12461.
- NERI, D. K. P.; MORAES, J. C.; GAVINO, M. A. Interação silício com inseticida regulador de crescimento no manejo de lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) EM MILHO1. **Ciênc. agrotec**, v. 29, p. 1167–1174, 2005.
- NOGUEIRA, A. M.; JESUS, K. A. de; JUNIOR, J. C. L.; BEZERRA, C. E. S. No Title. **CONNECTION LINE**, v. 19, n. ISSN 1980-7341, p. 52–62, 2018.
- NOJOSA, G. B. DE A.; RESENDE, M. L. V.; RESENDE, Á. V. Uso de fosfitos na indução de resistência. Em: CAVALCANTI, L. S. ; DI PIERO, R. M. ; CIA, P. ; PASCHOLATI, S. F. ; RESENDE, M. L. V. ;; ROMEIRO, R. S. (Ed.). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos.** [s.l: s.n.] p. 139–153. 2005.
- NOJOSA, G. B. R. A.; RESENDE, M. L. V. ; BARGUIL, B. M. ; MORAES, S. R. G. ; VILAS; BOAS, C. H. Efeito de indutores de resistência em cafeeiro contra a mancha de *Phoma*. **Summa Phytopathologica**, v. 35, p. 60–62, 2009.

- NUNES, M. A. Plumas do Cerrado: a reconfiguração espacial da produção algodoeira (cotonicultura) no Brasil e em Minas Gerais no início do século XXI. **Revista Espinhaço**, v. 11, n. 2317–0611, 2022.
- PAINTER, R. H. **Insect resistance in crop plants**. 1951.
- PATTERSON, M.; ALYOKHIN, A. Survival and development of Colorado potato beetles on potatoes treated with phosphite. **Crop Protection**, v. 61, p. 38–42, jul. 2014. doi: 10.1016/j.cropro.2014.03.014.
- PENNA, J. C. V. In: BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Em: **Melhoramento do algodão**. 2. ed. [s.l: s.n.] p. 15–53. 2005.
- PERDOMO, D. N.; RODRIGUES, A. A. R.; SAMPAIO, M. V.; CELOTTO, F. J.; MENDES, S. M.; PEREIRA, H. S.; LIMA, D. T. de; REZENDE, G. F. Increase in foliar silicon content reduces defoliation by *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize. **Bragantia**, v. 81, 2022. doi: 10.1590/1678-4499.20210147.
- PERINI, C. R.; SOSA, V. I.; KODA, V. E.; SILVA, H.; RISSO, A. A.; VASCONCELOS, W. N. F.; GONÇALVES, C. F.; UGALDE, G. A.; MACHADO, D. N.; BEVILACQUA, C. B.; ARDISSON-ARAÚJO, D. M. P.; MAEBE, K.; SMAGGHE, G.; VALMORBIDA, I.; GUEDES, J. C. Genetic structure of two Plusiinae species suggests recent expansion of *Chrysodeixis includens* in the American continent. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 23, n. 3, p. 250–260, 7 ago. 2021. doi: 10.1111/afe.12427.
- POZZA, E. A. ; POZZA, A. A. A. Grupo de Estudos Avançados em Fitopatologia. Nutrição no manejo de doenças de plantas. Em: **Nutrição mineral no manejo de doenças de plantas**. 2012.
- QUEIROZ, L. F. de; CORASSA, J. D. N.; RODRIGUES, S. M. M.; PITTA, R. M. Susceptibility of soybean looper to lufenuron and spinosad. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 87, 2020. doi: 10.1590/1808-1657000062019.
- RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Em: **Agronômica Ceres**. p. 343. 1991.
- RATJEN, A. M.; GERENDÁS, J. A critical assessment of the suitability of phosphite as a source of phosphorus. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, n. 6, p. 821–828, 25 dez. 2009. doi: 10.1002/jpln.200800287.
- RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews**, v. 58, n. 2, p. 179–207, maio 1983. doi: 10.1111/j.1469-185X.1983.tb00385.x.
- REICHEL, T.; DE RESENDE, M. L. V.; MONTEIRO, A. C. A.; FREITAS, N. C.; DOS SANTOS BOTELHO, D. M. Constitutive Defense Strategy of Coffee Under Field Conditions: A Comparative Assessment of Resistant and Susceptible Cultivars to Rust. **Molecular Biotechnology**, v. 64, n. 3, p. 263–277, 30 mar. 2022. doi: 10.1007/s12033-021-00405-9.

- RESTELATTO, S. S.; WILLE, P. E.; BUSS, N.; WILLE, C. L.; BOFF, M. I. C.; CONTINI, R. E.; FRANCO, C. R. Intraspecific variation in the *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) susceptibility to insecticides. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, 2021. doi: 10.1590/1983-40632021v5167353.
- 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, n. 2, p. 171–186, 2009. doi: 10.1111/j.1744-7348.2009.00348.x.
- REYNOLDS, O. L.; PADULA, M. P.; ZENG, R.; GURR, G. M. Silicon: Potential to Promote Direct and Indirect Effects on Plant Defense Against Arthropod Pests in Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 13 jun. 2016. doi: 10.3389/fpls.2016.00744.
- RIAZ, S.; JOHNSON, J. B.; AHMAD, M.; FITT, G. P.; NAIKER, M. A review on biological interactions and management of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Applied Entomology**, v. 145, n. 6, p. 467–498, 31 jul. 2021. doi: 10.1111/jen.12880.
- ROSSETTO, C. J. . **Resistência de plantas a insetos**. 1986.
- RUAN, Y.-L. Recent advances in understanding cotton fibre and seed development. **Seed Science Research**, v. 15, n. 4, p. 269–280, 22 dez. 2005. doi: 10.1079/SSR2005217.
- SANTOS, A. F. B. dos; TEIXEIRA, G. C. M.; CAMPOS, C. N. S.; BAILO, F. H. R.; PRADO, R. de M.; TEODORO, L. P. R.; VILELA, R. G.; PAIVA NETO, V. B. de; TEODORO, P. E. Silicon increases chlorophyll and photosynthesis and improves height and NDVI of cotton (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e548973826, 26 maio 2020. doi: 10.33448/rsd-v9i7.3826.
- SARFRAZ, M.; DOSDALL, L. M.; KEDDIE, B. A. Diamondback moth–host plant interactions: Implications for pest management. **Crop Protection**, v. 25, n. 7, p. 625–639, jul. 2006. doi: 10.1016/j.cropro.2005.09.011.
- SHENG, H.; CHEN, S. **Plant silicon-cell wall complexes: Identification, model of covalent bond formation and biofunction** *Plant Physiology and Biochemistry* Elsevier Masson SAS, , 1 out. 2020. . doi: 10.1016/j.plaphy.2020.07.020.
- SILVA, A. A.; ALVARENGA, R.; MORAES, J. C.; ALCANTRA, E. Biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em Algodoeiro de Fibra Colorida Tratado com Silício. **EntomoBrasilis**, v. 7, n. 1, p. 65–68, 2014a. doi: 10.12741/ebrasilis.v7i1.365.
- SILVA, A. A.; ALVARENGA, R.; MORAES, J. C.; ALCANTRA, E. Biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em Algodoeiro de Fibra Colorida Tratado com Silício. **EntomoBrasilis**, v. 7, n. 1, p. 65–68, 21 abr. 2014b. doi: 10.12741/ebrasilis.v7i1.365.
- SILVA, C. S.; CORDEIRO, E. M. G.; PAIVA, J. B.; DOURADO, P. M.; CARVALHO, R. A.; HEAD, G.; MARTINELLI, S.; CORREA, A. S. Population expansion and genomic adaptation to agricultural environments of the soybean looper, *Chrysodeixis includens*. **Evolutionary Applications**, v. 13, n. 8, p. 2071–2085, 19 set. 2020. doi: 10.1111/eva.12966.

SILVA FILHO, M. de C.; FALCO, M. c. Interação planta-inseto. **Biociência**, v. 10, n. 1, p. 38–42, 2000.

SILVA, I. P. F.; JUNIOR, J. . F. . S.; ARALDI, R.; TANAKA, A. . A.; GIROTTO, M.; BOSQUÊ, G. G.; LIMA, F. C. C. Estudo das fases fenológicas do algodão (*Gossypium hirsutum* L.). **Revista científica eletrônica de agronomia**, v. 20, n. 1677– 0293, p. 1–10, 2011.

SORGATTO, R. J.; BERNARDI, O.; OMOTO, C. Survival and Development of *Spodoptera frugiperda* and *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera : Noctuidae) on Bt Cotton and Implications for Resistance Management Strategies in Brazil. 2015. doi: 10.1093/ee/nvu018.

SOSA-GÓMEZ, D. R.; SPECHT, A.; PAULA-MORAES, S. V.; LOPES-LIMA, A.; YANO, S. A. C.; MICHELI, A.; MORAIS, E. G. F.; GALLO, P.; PEREIRA, P. R. V. S.; SALVADORI, J. R.; BOTTON, M.; ZENKER, M. M.; AZEVEDO-FILHO, W. S. Timeline and geographical distribution of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera, Noctuidae: Heliiothinae) in Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 60, n. 1, p. 101–104, jan. 2016. doi: 10.1016/j.rbe.2015.09.008.

SOSA-GÓMEZ; R., D.; LASTRA, L.; C., C.; HUMBER, R. A. An Overview of Arthropod-Associated Fungi from Argentina and Brazil. **Mycopathologia**, v. 170, n. 1, p. 61–76, 22 jul. 2010. doi: 10.1007/s11046-010-9288-3.

SOUSA, A. C. G.; SOUZA, B. H. S.; MARCHIORI, P. E. R.; BÔAS, L. V. V. Characterization of priming, induced resistance, and tolerance to *Spodoptera frugiperda* by silicon fertilization in maize genotypes. **Journal of Pest Science**, v. 95, n. 3, p. 1387–1400, 18 jun. 2022. doi: 10.1007/s10340-021-01468-y.

SPANOS, G. A.; WROLSTAD, R. E. Influence of processing and storage on the phenolic composition of Thompson Seedless grape juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 38, n. 7, p. 1565–1571, 1 jul. 1990. doi: 10.1021/jf00097a030.

SPARKS, T. C.; CROSTHWAITE, A. J.; NAUEN, R.; BANBA, S.; CORDOVA, D.; EARLEY, F.; EBBINGHAUS-KINTSCHER, U.; FUJIOKA, S.; HIRAO, A.; KARMON, D.; KENNEDY, R.; NAKAO, T.; POPHAM, H. J. R.; SALGADO, V.; WATSON, G. B.; WEDEL, B. J.; WESSELS, F. J. Insecticides, biologics and nematicides: Updates to IRAC’s mode of action classification - a tool for resistance management. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 167, p. 104587, jul. 2020. doi: 10.1016/j.pestbp.2020.104587.

SPECHT, A.; DE PAULA-MORAES, S. V.; SOSA-GÓMEZ, D. R. Host plants of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera, Noctuidae, Plusiinae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 59, n. 4, p. 343–345, out. 2015. doi: 10.1016/j.rbe.2015.09.002.

SPECHT, A.; SILVA, E. J. E.; LINK, D. Noctuídeos (Lepidoptera, Noctuidae) do museu entomológico Ceslau Biezanko, departamento de fitossanidade, faculdade de agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, RS. **Revista brasileira Agrocência**, v. 10, n4, p. 389–409, 2004.

SPECHT, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; PAULA-MORAES, S. V. de; YANO, S. A. C. Identificação morfológica e molecular de *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) e

ampliação de seu registro de ocorrência no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 6, p. 689–692, jun. 2013. doi: 10.1590/S0100-204X2013000600015.

SRIKANTH, P.; MAXTON, A.; MASIH, S. A. Bt cotton: A boon against insect resistance. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8–2, p. 202–205, 2019.

STACKE, R. F.; GIACOMELLI, T.; BRONZATTO, E. S.; HALBERSTADT, S. A.; GARLET, C. G.; MURARO, D. S.; GUEDES, J. V. C.; BERNARDI, O. Susceptibility of Brazilian Populations of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) to Selected Insecticides. **Journal of Economic Entomology**, v. 112, n. 3, p. 1378–1387, 22 maio 2019. doi: 10.1093/jee/toz031.

STATSOFT. **STATISTICA (data analysis software system)** Tulsa, 2004.

SUZANA, C. S.; DAMIANI, R.; FORTUNA, L. S.; SALVADORI, J. R. Desempenho de larvas de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes fontes alimentares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 480–485, dez. 2015. doi: 10.1590/1983-40632015v4536733.

TANG, J.; LU, J.; ZHANG, C.; YU, S.; DING, Z.; SOE, E. T.; LIANG, G. The evaluation of resistance risk to Cry2Ab and cross-resistance to other insecticides in *Helicoverpa armigera*. **Journal of Pest Science**, 17 jun. 2023. doi: 10.1007/s10340-023-01646-0.

THAKUR, M.; SOHAL, B. S. Role of Elicitors in Inducing Resistance in Plants against Pathogen Infection: A Review. **ISRN Biochemistry**, v. 2013, p. 1–10, 28 jan. 2013. doi: 10.1155/2013/762412.

THOMMA, B. P. H. J.; NÜRNBERGER, T.; JOOSTEN, M. H. A. J. Of PAMPs and Effectors: The Blurred PTI-ETI Dichotomy. **The Plant Cell**, v. 23, n. 1, p. 4–15, jan. 2011. doi: 10.1105/tpc.110.082602.

TOSSOU, E.; TEPA-YOTTO, G.; KPINDOU, O. K. D.; SANDEU, R.; DATINON, B.; ZEUKENG, F.; AKOTON, R.; TCHIGOSSOU, G. M.; DJÈGBÈ, I.; VONTAS, J.; MARTIN, T.; WONDJI, C.; TAMÒ, M.; BOKONON-GANTA, A. H.; DJOUAKA, R. Susceptibility Profiles of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to Deltamethrin Reveal a Contrast between the Northern and the Southern Benin. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 11, p. 1882, 28 maio 2019. doi: 10.3390/ijerph16111882.

ULHOA, L. A.; BARRIGOSI, J. A. F.; BORGES, M.; LAUMANN, R. A.; BLASSIOLI-MORAES, M. C. Differential induction of volatiles in rice plants by two stink bug species influence behaviour of conspecifics and their natural enemy *Telenomus podisi*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 168, n. 1, p. 76–90, 17 jan. 2020. doi: 10.1111/eea.12869.

VARGAS-HERNANDEZ, M.; MACIAS-BOBADILLA, I.; GUEVARA-GONZALEZ, R. G.; ROMERO-GOMEZ, S. de J.; RICO-GARCIA, E.; OCAMPO-VELAZQUEZ, R. V.; ALVAREZ-ARQUIETA, L. de L.; TORRES-PACHECO, I. Plant Hormesis Management with Biostimulants of Biotic Origin in Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 13 out. 2017. doi: 10.3389/fpls.2017.01762.

VIANA, D. de L.; NETTO, J. C.; AGUIRRE-GIL, O. J.; BUSOLI, A. C. Parâmetros biológicos da lagarta falsa-medideira em cultivares de algodoeiro com as proteínas Cry1Ac e Cry1F. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 7, p. 569–572, jul. 2014. doi: 10.1590/S0100-204X2014000700010.

VIEGAS JÚNIOR, C. Terpenos com atividade inseticida: uma alternativa para o controle químico de insetos. **Química Nova**, v. 26, n. 3, p. 390–400, maio 2003. doi: 10.1590/S0100-40422003000300017.

VILELA, A. E.; DE RESENDE, M. L. V.; DE MEDEIROS, F. C. L.; PEREIRA, M. H. de B.; SANTIAGO, W. D.; DE AZEVEDO SANTOS, L.; DOS SANTOS BOTELHO, D. M.; RAMALHO, T. C. Association phosphite x fungicide: protection against powdery mildew in soybean plants, translocation and computer simulation. **Journal of Plant Pathology**, v. 104, n. 2, p. 787–793, 22 maio 2022. doi: 10.1007/s42161-022-01086-2.

VILELA, M.; MORAES, J. C.; ALVES, E.; SANTOS-CIVIDANES, T. M.; SANTOS, F. A. No Title. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 40, n. 0120–0488, p. 44–48, 2014.
WANG, X.; CHEN, H.; SHAN, Z.; HAO, Q.; ZHANG, C.; YANG, Z.; ZHANG, X.; YUAN, S.; QIU, D.; CHEN, S.; JIAO, Y.; ZHOU, X. Herbivore defense responses and associated herbivore defense mechanism as revealed by comparing a resistant wild soybean with a susceptible cultivar. **The Crop Journal**, v. 3, n. 6, p. 451–467, dez. 2015. doi: 10.1016/j.cj.2015.07.001.

WU, K.; MU, W.; LIANG, G.; GUO, Y. Regional reversion of insecticide resistance in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) is associated with the use of Bt cotton in northern China. **Pest Management Science**, v. 61, n. 5, p. 491–498, maio 2005. doi: 10.1002/ps.999.

XIAO, Y.; WU, K. Recent progress on the interaction between insects and *Bacillus thuringiensis* crops. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 374, n. 1767, p. 20180316, 4 mar. 2019. doi: 10.1098/rstb.2018.0316.

YE, M.; SONG, Y.; LONG, J.; WANG, R.; BAERSON, S. R.; PAN, Z.; ZHU-SALZMAN, K.; XIE, J.; CAI, K.; LUO, S.; ZENG, R. Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 110, n. 38, 17 out. 2013. doi: 10.1073/pnas.1305848110.

ZALUCKI, M. P.; FURLONG, M. J. Forecasting *Helicoverpa* populations in Australia: A comparison of regression based models and a bioclimatic based modelling approach. **Insect Science**, v. 12, n. 1, p. 45–56, 22 fev. 2005. doi: 10.1111/j.1672-9609.2005.00007.x.

ZAYED, M. S.; TAHA, E.-K. A.; HASSAN, M. M.; ELNABAWY, E.-S. M. Enhance Systemic Resistance Significantly Reduces the Silverleaf Whitefly Population and Increases the Yield of Sweet Pepper, *Capsicum annuum* L. var. *annuum*. **Sustainability**, v. 14, n. 11, p. 6583, 27 maio 2022. doi: 10.3390/su14116583.

ZHANG, C.; WANG, L.; ZHANG, W.; ZHANG, F. Do lignification and silicification of the cell wall precede silicon deposition in the silica cell of the rice (*Oryza sativa* L.) leaf epidermis? **Plant and Soil**, v. 372, n. 1–2, p. 137–149, 5 nov. 2013. doi: 10.1007/s11104-013-1723-z.

ZUNUN-PÉREZ, A. Y.; GUEVARA-FIGUEROA, T.; JIMENEZ-GARCIA, S. N.; FERREGRINO-PÉREZ, A. A.; GAUTIER, F.; GUEVARA-GONZÁLEZ, R. G. Effect of foliar application of salicylic acid, hydrogen peroxide and a xyloglucan oligosaccharide on capsiate content and gene expression associated with capsinoids synthesis in *Capsicum annum* L. **Journal of Biosciences**, v. 42, n. 2, p. 245–250, 20 jun. 2017a. doi: 10.1007/s12038-017-9682-9.

TERCEIRA PARTE

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em ensaios laboratoriais, casa de vegetação e campo, os nossos experimentos constataram que a aplicação de Silício, fertilizantes minerais a base de fosfito de cobre e potássio mais silício, apresentam potencial de ação a lagartas *C. includens* e *H. armigera* pela indução de resistência e na tolerância das plantas de algodão a herbivoria. No primeiro artigo foram constatados efeitos negativos pela aplicação via solo de Si na sobrevivência e peso larval de *C. includens* nas fases vegetativa e reprodutiva de algodoeiro. A fertilização com Si, logo o acúmulo do elemento nos tecidos do algodoeiro, aumentou consideravelmente a altura e biomassa das folhas, ramos e raízes, além do teor foliar de clorofila. Essas benfeitorias foram relacionadas com o maior acúmulo de Si nas folhas nas plantas fertilizadas. No presente trabalho, a fertilização com Si promoveu aumento da densidade das glândulas de gossipol nas faces adaxial e abaxial das folhas. A herbivoria de *C. includens* estimulou o aumento da produção de glândulas em ambas às faces das folhas, porém, sem interação entre Si e herbivoria, indicando que os efeitos foram independentes. Pelos resultados encontrados neste trabalho, é hipotetizado que a aplicação de Si em plantas de algodão ativou as vias de sinalização e estimulou a produção de compostos secundários como terpenos, quantificados aqui pelo número de glândulas de gossipol nas folhas, funcionando como um elicitador de resistência. A aplicação de Si em algodoeiro demonstrou pela primeira vez na literatura para essa cultura que o mineral pode atuar como um elicitador de resistência das plantas a insetos, afetando negativamente o desempenho biológica da lagarta-falsa-medideira. O maior acúmulo de Si causou bioestímulo no crescimento, biomassa, teores de clorofila e gossipol das plantas de algodão, demonstrando que o mineral atua como bioestimulante.

No segundo artigo os resultados obtidos no primeiro experimento sugerem que as cultivares de algodão, que contêm tecnologia Bollgard II® e que expressam as proteínas Cry1Ac e Cry2Ab2, proporcionam moderada resistência ao ataque de *C. includens* e *H. armigera* na fase vegetativa e alta resistência na fase reprodutiva em termos de mortalidade larval. Pode-se inferir que a fertilização com fosfito Cu no presente estudo elevou os níveis de resistência do algodoeiro, fazendo com que as lagartas de *H. armigera* compensassem esses mecanismos de defesa, aumentando a taxa de consumo foliar, embora não ocorreu ganho de peso larval proporcional. Além do efeito dos produtos, verifica-se que o algodoeiro na fase reprodutiva não é considerado uma planta hospedeira que proporciona ótimo desenvolvimento de *C. includens* por produzir substâncias antinutricionais que podem interferir negativamente no crescimento e prolongar o período larval.

Em relação aos efeitos dos elicitores minerais na capacidade de crescimento e tolerância de algodoeiro à herbivoria de lagartas de *C. includens*, as aplicações de fosfito K + Si e fosfito Cu não influenciaram no crescimento da parte aérea das plantas, teor de clorofila e de glândulas de gossipol contabilizadas na face adaxial das folhas. No entanto, a aplicação de ambos os elicitores minerais no presente estudo promoveram acréscimos na massa seca das plantas, tanto no crescimento, quanto matéria seca da raiz. A massa seca da raiz do algodoeiro foi maior na presença de herbivoria de *C. includens* em relação às plantas não atacadas no presente trabalho. Essas respostas de compensação de crescimento são em função ao ataque de insetos que ativam mecanismos específicos de reconhecimento de padrões moleculares associados a injúria. A produção de glândulas de gossipol na face abaxial das plantas de algodão foi estimulada pela aplicação de fosfito K + Si, enquanto para fosfito Cu a síntese foi intermediária.

Essas novas informações podem ser aplicadas em estratégias de manejo integrado de pragas na produção do algodoeiro, de modo que o Si pode atuar como um eficiente elicitador de resistência a lagartas e melhorar o crescimento das plantas. A condução de trabalhos em campo com a aplicação dos fosfitos em algodoeiro e a avaliação da resistência e tolerância às infestações naturais de pragas em cenários de outros estresses bióticos e abióticos darão subsídios sobre o uso desses elicitores em sistemas de produção agrícola sustentáveis.