

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO À *Chrysodeixis  
includens* E INFLUÊNCIA DE MICORRIZAS E SILÍCIO NA  
TOLERÂNCIA DE MILHO E SOJA À INSETOS-PRAGA**

**Lucas Adjuto Ulhoa**  
Engenheiro Agrônomo

**2022**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO À *Chrysodeixis  
includens* E INFLUÊNCIA DE MICORRIZAS E SILÍCIO NA  
TOLERÂNCIA DE MILHO E SOJA À INSETOS-PRAGA**

**Lucas Adjuto Ulhoa**

**Orientador: Prof. Dr. Arlindo Leal Boiça Júnior**

**Coorientador: Prof. Dr. Michael Joseph Stout**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Entomologia Agrícola).

**2022**

U38r

Ulhoa, Lucas Adjuto

Resistência de genótipos de feijão à *Chrysodeixis includens* e influência de micorrizas e silício na tolerância de milho e soja à insetos-praga / Lucas Adjuto  
Ulhoa. -- Jaboticabal, 2022

169 p. : tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Arlindo Leal Boiça Junior

Coorientador: Michael Joseph Stout

1. Glycine max. 2. Lagarta do cartucho. 3. Lagarta-falsa-medideira. 4. Phaseolus vulgaris. 5. Resistência constitutiva e induzida a insetos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

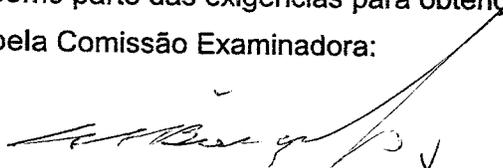
TÍTULO DA TESE: RESISTÊNCIA DE GENOTIPOS DE FEIJÃO À *Chrysodeixis includens* E INFLUÊNCIA DE MICORRIZAS E SILÍCIO NA TOLERÂNCIA DE MILHO E SOJA À INSETOS-PRAGA

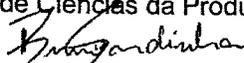
**AUTOR: LUCAS ADJUTO ULHOA**

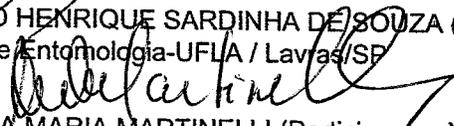
**ORIENTADOR: ARLINDO LEAL BOIÇA JUNIOR**

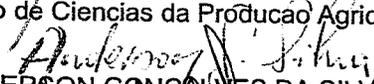
**COORIENTADOR: MICHAEL JOSEPH STOUT**

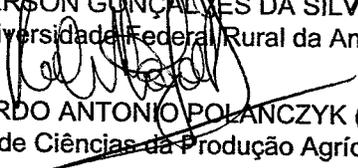
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Entomologia Agrícola), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. ARLINDO LEAL BOIÇA JUNIOR (Participação Virtual)  
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV UNESP Jaboticabal

  
Prof. Dr. BRUNO HENRIQUE SARDINHA DE SOUZA (Participação Virtual)  
Departamento de Entomologia-UFLA / Lavras/SF

  
Profa. Dra. NILZA MARIA MARTINELLI (Participação Virtual)  
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV UNESP Jaboticabal

  
Prof. Dr. ANDERSON GONÇALVES DA SILVA (Participação Virtual)  
Belém/PA / Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

  
Prof. Dr. RICARDO ANTONIO POLANCZYK (Participação Virtual)  
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 02 de setembro de 2022

## DADOS CURRICULARES DO AUTOR

LUCAS ADJUTO ULHOA – Natural de Nottingham, Inglaterra com nacionalidade Brasileira, nascido em 20 de abril de 1990, filho de Cirano José Ulhoa e Cristina Adjuto Ulhoa. Engenheiro Agrônomo graduado pela Universidade Federal de Goiás (UFG), no ano de 2015. Na graduação realizou intercambio pelo programa Ciência Sem Fronteiras na Universidad Miguel Hernández de Elche, Orihuela, Espanha no período de setembro de 2012 a setembro de 2013. Durante a graduação foi estagiário de Entomologia (identificação e taxonomia de insetos) no ICB-UFG no período de agosto de 2009 a março de 2010. Foi estagiário bolsista na Embrapa na área de Fitopatologia no período de maio de 2010 a fevereiro de 2012. Realizou o estágio curricular obrigatório na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo no Departamento de Entomologia e Acarologia em 2015, cumprindo uma carga horária de 300 horas. Realizou estágio remunerado na empresa UNIGEO Geoprocessamento e Consultoria LTDA, na área de agricultura de precisão no período de setembro a dezembro de 2015. Em março de 2016, iniciou o curso de mestrado em Agronomia (Fitossanidade) pela UFG e Embrapa sob a orientação do Dr. José Alexandre Freitas Barrigossi e sob coorientação da Dra. Maria Carolina Blassioli Moraes, com bolsa concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES. Título da dissertação de mestrado: Influência de semioquímicos emitidos por plantas de arroz no comportamento de *Tibraca limbativentris*, *Glypheidomyia spinosa* (Heteroptera: Pentatomidae) e *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygasteridae). No mestrado realizou intercambio de pós-graduação da Asociación de Universidades Grupo Montevideo (AUGM) no período de outubro de 2017 a janeiro de 2018 na Universidad Nacional del Litoral, Esperanza, Argentina. Em agosto de 2018, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia (Entomologia Agrícola) pela Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil, onde atuou com pesquisas em resistência de plantas a insetos, sob a orientação do Prof. Dr. Arlindo Leal Boiça Júnior, com bolsa concedida pela CAPES. Realizou doutorado sanduiche na Louisiana State University, Baton Rouge, Estados Unidos sob a orientação do Dr. Michael Joseph Stout, no período de fevereiro a agosto de 2020.

DEDICO...

Ao meu pai **Cirano José Ulhoa**, por todo o incentivo, conselhos, companheirismo e apoio.

OFEREÇO...

A minha família, aos meus pais **Cirano José Ulhoa** e **Cristina Adjuto Ulhoa** e as minhas irmãs **Clarissa Adjuto Ulhoa** e **Lidia Adjuto Ulhoa** por todo amor, carinho e apoio.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal-SP (UNESP/FCAV). À Louisiana State University e ao Department of Entomology em Baton Rouge, Estados Unidos (LSU/AgCenter), por toda estrutura fornecida para a condução dos trabalhos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Entomologia Agrícola), pela oportunidade de realização do doutorado e formação profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de doutorado (Processo: 88882.433791/2019-01).

Ao Prof. Dr. Arlindo Leal Boiça Júnior, pela oportunidade, orientação, contribuição para minha formação e amizade. Ao Prof. Dr. Michael Joseph Stout, pela oportunidade e orientação nos 6 meses de intercâmbio nos Estados Unidos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Entomologia Agrícola), pelos conhecimentos transmitidos. Aos Professores Dra. Nilza Maria Martinelli e Dr. Sergio Antônio de Bortoli, pela participação e colaboração em meu Exame Geral de Qualificação.

Aos colegas do Laboratório de Resistência de Plantas a Insetos (LARPI) da UNESP/FCAV, Dr. Marcelo Mueller de Freitas, Dr. Carlos Alessandro de Freitas, Dra. Thaise Mylena Pascutti e Dr. Zulene Antônio Ribeiro pelas contribuições nos meus experimentos, discussões sobre assuntos relacionados à Entomologia Agrícola e amizade.

Ao meu pai Cirano José Ulhoa pelo apoio, companheirismo, ensinamentos e incentivo em continuar nos estudos. A minha mãe Cristina Adjuto Ulhoa, as minhas irmãs Clarissa Adjuto Ulhoa e Lidia Adjuto Ulhoa e a minha namorada Aline Rangel Araújo pelo carinho e apoio.

Aos colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Entomologia Agrícola) da UNESP/FCAV, pela convivência e participação junto às disciplinas, cursos e eventos. E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

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

Obrigado!

## SUMÁRIO

	Página
<b>CAPÍTULO 1 - Considerações gerais</b> .....	1
1. Introdução .....	1
2. Revisão de Literatura .....	4
2.1. A cultura do feijão .....	4
2.2. A cultura da soja.....	6
2.3. A cultura do milho .....	8
2.4. Lagarta-falsa-medideira ( <i>Chrysodeixis includens</i> ).....	10
2.5. Lagarta do cartucho ( <i>Spodoptera frugiperda</i> ) .....	12
2.6. Fungos micorrízicos arbusculares .....	15
2.7. Silício.....	18
2.8. Resistência constitutiva e induzida de plantas a insetos-praga .....	19
3. Referências .....	22
<b>CAPÍTULO 2 - Resistência constitutiva de genótipos de feijão a <i>Chrysodeixis includens</i> (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae)</b> .....	47
1. Introdução .....	49
2. Material e métodos .....	51
2.1. Condições experimentais .....	51
2.2. Plantas.....	52
2.3. Insetos.....	52
2.4. Preferência alimentar de <i>Chrysodeixis includens</i> .....	53
2.5. Antibiose .....	54
2.6. Análise de dados .....	55
3. Resultados .....	55
3.1. Preferência alimentar de <i>Chrysodeixis includens</i> .....	55

3.2. Antibiose .....	62
4. Discussão .....	66
5. Referências .....	73
<b>CAPÍTULO 3 - Resistência induzida de genótipos de feijão a <i>Chrysodeixis includens</i> (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) .....</b>	<b>80</b>
1. Introdução .....	82
2. Material e métodos .....	87
2.1. Condições experimentais .....	87
2.2. Plantas.....	87
2.3. Insetos.....	88
2.4. Infestação de <i>Chrysodeixis includens</i> em plantas de feijão .....	89
2.5. Preferência alimentar de <i>Chrysodeixis includens</i> .....	90
2.6. Índices nutricionais de <i>Chrysodeixis includens</i> .....	91
2.7. Análise de dados .....	92
3. Resultados .....	93
3.1. Preferência alimentar de <i>Chrysodeixis includens</i> .....	93
3.2. Índices nutricionais de <i>Chrysodeixis includens</i> .....	96
4. Discussão.....	100
5. Referências .....	107
<b>CAPÍTULO 4 – Influência de micorrizas e silício na tolerância de milho e soja a <i>Spodoptera frugiperda</i> (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) .....</b>	<b>117</b>
1. Introdução .....	119
2. Material e métodos .....	123
2.1. Plantas.....	123
2.2. Insetos.....	123
2.3. Fungos micorrízicos arbusculares .....	124

<b>2.4. Silício</b> .....	125
<b>2.5. Experimento em casa de vegetação</b> .....	125
<b>2.6. Quantificação da colonização micorrízica nas raízes</b> .....	126
<b>2.7. Experimento em campo</b> .....	127
<b>2.8. Análise Estatística</b> .....	128
<b>3. Resultados</b> .....	129
<b>3.1. Experimento em casa de vegetação</b> .....	129
<b>3.2. Experimento em campo</b> .....	134
<b>4. Discussão</b> .....	143
<b>5. Referências</b> .....	155
<b>CAPÍTULO 5 – Considerações finais</b> .....	169

## RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO À *Chrysodeixis includens* E INFLUÊNCIA DE MICORRIZAS E SILÍCIO NA TOLERANCIA DE MILHO E SOJA À INSETOS-PRAGA

**RESUMO** – O controle de *Chrysodeixis includens* na cultura do feijão e *Spodoptera frugiperda* nas culturas da soja e do milho tem sido realizado principalmente através da aplicação de inseticidas químicos e/ou do uso de plantas transgênicas que expressam as proteínas inseticidas de *Bacillus thuringiensis* (Bt). Entretanto, estes métodos de controle podem impor uma forte pressão de seleção nas populações das lagartas, favorecendo a evolução da resistência. Portanto, o uso de genótipos resistentes a insetos-praga e a aplicação de Silício (Si) e Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) para induzir a resistência e/ou melhorar o desenvolvimento das plantas, são alternativas promissoras para serem usadas no manejo integrado desses insetos-praga. As plantas resistentes possuem complexos mecanismos bioquímicos e morfológicos de defesa contra pragas. O Si absorvido pelas plantas é depositado no tecido das folhas, formando uma barreira mecânica que dificulta a alimentação do inseto herbívoro. Os FMAs formam associações com as raízes e ajudam as plantas na absorção de nutrientes e água. Os objetivos deste trabalho foram avaliar a expressão de possíveis fontes de resistência constitutiva e induzida de doze genótipos comerciais de feijão à *C. includens*. Além disso, avaliar os efeitos da aplicação de Si e FMA no desenvolvimento e na tolerância de soja e milho a *S. frugiperda* em casa de vegetação e de soja as diferentes pragas no campo. Foram realizados ensaios de atratividade, preferência alimentar, índices nutricionais e antibiose para selecionar genótipos de feijão com fontes de resistência à *C. includens*. Além disso, foi avaliado o desenvolvimento das plantas e de *S. frugiperda*, os danos causados pelos insetos, o nível populacional de espécies de pragas e a qualidade das sementes colhidas nos diferentes tratamentos com Si e FMA. Analisando os dados de resistência constitutiva, os genótipos BRS MG Madrepérola (antixenose e antibiose), BRS Sublime (antixenose) e IAC 1850 (antibiose) foram resistentes. Os seguintes genótipos apresentaram resistência induzida: BRS Sublime (antixenose), IAC 1850 (antixenose), Pérola (antixenose e antibiose), IAC Sintonia (Nova seleção) (antixenose e antibiose), BRS FC 402 (antixenose e antibiose) e ANFC 9 (antibiose). Os testes em casa de vegetação e campo demonstraram que a inoculação e colonização de FMAs nas raízes e a aplicação de Si no solo individualmente ou em conjunto (FMA+Si) influenciaram positivamente em alguns parâmetros o desenvolvimento, resistência e tolerância das plantas de milho e soja. Os resultados deste trabalho são importantes para buscar alternativas sustentáveis no cultivo dessas importantes culturas, como a seleção de novas fontes de resistência do feijão e demonstração que a aplicação de Si e FMA no solo pode ser benéfico para as culturas do milho e da soja.

**Palavras-chave:** *Glycine max*, Lagarta do cartucho, Lagarta-falsa-medideira, *Phaseolus vulgaris*, Resistência constitutiva e induzida a insetos, *Zea mays*

## RESISTANCE OF BEAN GENOTYPES TO *Chrysodeixis includens* AND INFLUENCE OF MYCORRHIZAS AND SILICON ON CORN AND SOYBEAN TOLERANCE TO PESTS

**ABSTRACT** – The control of *Chrysodeixis includens* in the bean crop and *Spodoptera frugiperda* in the soybean and corn crops has been carried out mainly through the application of chemical insecticides and/or the use of transgenic plants that express the insecticidal proteins of *Bacillus thuringiensis* (Bt). However, these control methods can impose strong selection pressure on caterpillar populations, favoring the evolution of resistance. Therefore, the use of insect-pest resistant genotypes and the application of Silicon (Si) and Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) to induce resistance and/or improve plant development are promising alternatives to be used in the integrated management of these insects-Prague. Resistant plants have complex biochemical and morphological defense mechanisms against pests. The Si absorbed by the plants is deposited in the leaf tissue, forming a mechanical barrier that makes it difficult for the herbivorous insect to feed. AMFs form associations with the roots and help plants absorb nutrients and water. The objectives of this work were to evaluate the expression of possible sources of constitutive and induced resistance of twelve commercial bean genotypes to *C. includens*. In addition, to evaluate the effects of Si and AMF application on the development and tolerance of soybean and corn to *S. frugiperda* in a greenhouse and soybean to different pests in the field. Attractiveness, food preference, nutritional indices and antibiosis assays were carried out to select bean genotypes with sources of resistance to *C. includens*. Furthermore, the development of plants and *S. frugiperda*, the damage caused by insects, the population level of pest species and the quality of the seeds collected in the different treatments with Si and AMF were evaluated. Analyzing the constitutive resistance data, the genotypes BRS MG Madrepérola (antixenosis and antibiosis), BRS Sublime (antixenosis) and IAC 1850 (antibiosis) were resistant. The following genotypes showed induced resistance: BRS Sublime (antixenosis), IAC 1850 (antixenosis), Pérola (antixenosis and antibiosis), IAC Sintonia (Nova seleção) (antixenosis and antibiosis), BRS FC 402 (antixenosis and antibiosis) and ANFC 9 (antibiosis). The tests in greenhouse and field showed that the inoculation and colonization of AMFs in the roots and the application of Si in the soil individually or together (AMF+Si) positively influenced the development, resistance and tolerance of maize and soybeans plants in some parameters. The results of this work are important to seek sustainable alternatives in the cultivation of these important crops, such as the selection of new sources of bean resistance and demonstration that the application of Si and FMA in the soil can be beneficial for corn and soybean crops.

**Keywords:** Constitutive and induced insect resistance, Fall armyworm, *Glycine max*, *Phaseolus vulgaris*, The soybean looper, *Zea mays*

## CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

### 1. Introdução

O cultivo do feijão, da soja e do milho, possui grande importância socioeconômica no Brasil e no mundo. No “ranking” mundial, o Brasil é um dos maiores produtores de feijão e milho e o maior produtor de soja (CONAB, 2021; FAO 2022). Em muitas regiões produtoras do Brasil, essas três culturas são cultivadas em sucessão em uma mesma área. Geralmente, o plantio da soja é feito no início das chuvas em outubro/novembro e o plantio do milho e feijão safrinha após a colheita da soja em fevereiro/março (Posse et al., 2010; CONAB, 2021).

Apesar de se destacar no “ranking” de produção, a produtividade dessas culturas no Brasil vem sendo afetada pela ocorrência de muitas espécies de insetos-praga, destacando-se a lagarta-falsa-medideira *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae) no feijão e na soja, e a lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) na soja e no milho (Quintela, 2009; Hoffmann-Campo et al., 2012; Quintela e Barbosa, 2015; Valicente, 2015).

O método mais utilizado para o controle desses lepidópteros no campo é a aplicação de inseticidas químicos. No entanto, existem vários problemas derivados do seu uso, principalmente os relacionados à saúde humana (Li, 2018), ao impacto ambiental (Tudi et al., 2021) e ao frequente aparecimento de populações resistentes aos inseticidas (Spark e Nauen, 2015). Os inseticidas químicos podem também afetar os insetos polinizadores (Rundlöf et al., 2015) e os inimigos naturais (Geiger et al., 2010, Pereira et al., 2018) que podem atuar como agentes de controle biológico dessas pragas (Bueno et al., 2017). A lagarta-falsa-medideira é considerada mais tolerante a inseticidas químicos do que outras lagartas e possuem o hábito de ficar escondidas na face abaxial das folhas (Herzog, 1980; Bueno et al., 2007). A lagarta *S. frugiperda* também é de difícil controle, principalmente na cultura do milho, pois essa lagarta se aloja no interior do cartucho, dificultando o contato com o inseticida (Valicente, 2015).

Outro método muito utilizado para o controle dessas lagartas é o plantio de cultivares transgênicas que expressam as proteínas inseticidas de *Bacillus thuringiensis* (Bt) (Miraldo et al., 2016; Parisi et al., 2016; Chaudhary e Singh, 2019).

Entretanto, a expressão contínua das proteínas de Bt impõe uma forte pressão de seleção nas populações das pragas, favorecendo a evolução da resistência (Carrière et al., 2010; Bernardi et al., 2014, 2015 a,b).

Por essas razões, a busca de outros métodos de controle para um programa de Manejo Integrado de Pragas (MIP) é importante, tais como o uso de cultivares resistentes a insetos-praga (Smith e Clement, 2012; Mitchell et al., 2016; Boiça Júnior et al., 2017a, 2017b) e a aplicação de Silício (Si) e fungos micorrízicos arbusculares (FMA) no solo para a indução de resistência e melhor desenvolvimento das plantas (Debona et al., 2017; Alhousari e Greger, 2018; Higo et al., 2019; Schoenherr et al., 2019).

A resistência de plantas a insetos é classificada em três categorias: antixenose, antibiose e tolerância. A antixenose é quando a planta evita o inseto para alimentação, abrigo e oviposição, geralmente é causado por características físicas da planta ou por compostos voláteis liberados pela planta. A resistência do tipo antibiose afeta negativamente a biologia dos insetos devido às características da planta. As causas estão relacionadas principalmente à presença de compostos químicos das plantas. A tolerância ocorre quando um genótipo é menos danificado que os demais em condições iguais de infestação dos insetos e sem que haja efeito no comportamento ou na biologia desses (Smith, 2005; Smith e Clement, 2012; Mitchell et al., 2016; Boiça Júnior et al., 2017; Baldin et al., 2019).

As plantas desenvolveram diferentes mecanismos de defesa, os quais podem ser constitutivos ou induzidos. Mecanismos constitutivos são aqueles que são continuamente expressos e independe de algum estresse biótico ou abiótico. Enquanto os mecanismos induzidos são expressos somente quando ocorre algum estresse biótico (injúria de insetos) ou abiótico (Stout, 2013; Boiça Júnior et al., 2019). Em ambos os mecanismos de defesa a ação sobre o agente agressor pode ser direta ou indireta.

Na defesa química direta, as plantas podem emitir uma mistura de compostos que atuam como substâncias dissuasivas, repelentes ou tóxicas aos insetos herbívoros (De Moraes et al., 1998; Moraes et al., 2005, 2008). Na defesa indireta a ação principal atrai organismos do terceiro nível trófico, os inimigos naturais dos insetos herbívoros (parasitoides ou predadores) (Ulhoa et al., 2020).

A resistência de plantas a insetos possui diversas vantagens. Pode manter a população do inseto-praga abaixo do nível econômico, causando pouco ou nenhum efeito negativo ao agroecossistema. Pode diminuir o uso de inseticidas químicos e conseqüentemente abaixa os custos de produção, não acumula resíduos tóxicos nos alimentos e no meio ambiente. Além disso, a utilização de variedades resistentes é simples (não precisa de muito conhecimento do agricultor) e não interfere na colheita, sem período de carência que é característico dos inseticidas. Possui efeito persistente e pode ser associado a qualquer outro método de controle. Apesar de muitas vantagens, é importante entender que uma variedade resistente a inseto pode não ser altamente produtiva e não ter resistência a todas as pragas, a fitopatógenos ou estresses abióticos, por isso é importante avaliar outros parâmetros. No desenvolvimento de uma cultivar, o melhoramento para transferir as características genéticas de resistência (cruzamentos) é um processo que requer tempo. Além disso, em uma lavoura com monocultivo (apenas um genótipo) pode causar desequilíbrio nos agroecossistemas, influenciando não só as pragas, mas também os inimigos naturais (Smith 2005; Vendramim e Guzzo 2009; Boiça Júnior et al. 2013; Mitchell et al. 2016; Baldin et al. 2019).

Os FMA formam associações mutualísticas com as raízes de 80% das plantas terrestres, incluindo importantes culturas agrícolas (Brundrett, 2002; Smith e Read, 2008; Zubek et al., 2016). A associação é benéfica para ambos, os FMA ajudam as plantas na absorção de nutrientes e água do solo, e em troca recebem carbono assimilado pela fotossíntese (Johnson et al., 1997; Cardoso e Kuyper, 2006; Smith e Read, 2008; Currie et al., 2011; Barber et al., 2013; Luginbuehl et al., 2017). Com uma maior absorção de nutrientes e água, as plantas são capazes de aumentar o crescimento e resistência aos estresses abióticos (Abdel et al., 2016; Moradtalab et al., 2019) e bióticos, incluindo ao ataque de insetos que se alimentam da raiz e da parte aérea (Gange, 2001; Pozo e Azcon-Aguilar, 2007; Smith e Read, 2008; Campos-Soriano et al., 2011; Vannette e Hunter, 2011; Schoenherr et al., 2018).

Silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre (28%), atrás apenas do oxigênio em abundância (Richmond e Sussman, 2003; Epstein, 2009). As plantas absorvem esse elemento somente como ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ). Ao atingir os espaços intercelulares e paredes celulares da epiderme, o

silício é polimerizado e depositado como sílica amorfa ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) (Meena et al., 2014). Com isso é formado uma barreira mecânica (Massey e Hartley, 2009), que torna os tecidos das plantas mais resistentes e dificulta a alimentação e digestão dos insetos herbívoros (Alhousari e Greger, 2018). Além disso, o ácido monossilícico absorvido, também pode induzir as defesas das plantas por processos fisiológicos e bioquímicos (Ma et al., 2004; Liang et al 2015).

Os objetivos do trabalho foram avaliar a expressão de possíveis fontes resistência constitutiva (sem injúria) e induzida (com injúria) de doze genótipos de feijoeiro à *C. includens*. Além disto, avaliar os efeitos da adição de FMA e silício no solo, no desenvolvimento e resistência de soja e milho a *S. frugiperda* em casa de vegetação e de soja as diferentes pragas no campo.

## **2. Revisão de Literatura**

### **2.1. A cultura do feijão**

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), pertence à classe Dicotiledônea e a família Fabaceae. *Phaseolus* e *P. vulgaris* são respectivamente o gênero e a espécie mais cultivada no mundo (Yokoyama, 2003; Bonett et al., 2007). Os maiores produtores de feijão do mundo são China, Índia, Myanmar e Brasil (FAO, 2022). Considerando as três safras em 2020/2021 a produção de feijão nacional foi de 2,88 milhões de toneladas em uma área de 2,92 milhões de hectares (ha) com uma produtividade de 984 kg/ha. O feijão é cultivado em todas as regiões do país, os estados do Paraná e Minas Gerais são os maiores produtores (CONAB, 2021).

O grão de feijão é uma importante fonte de proteína (20 a 28%) e apresenta uma alta quantidade de carboidratos, vitaminas, minerais, fibras e compostos fenólicos (Broughton et al., 2003; Lovato et al, 2018). É um alimento importante na dieta da população brasileira principalmente nas classes menos favorecidas, onde o consumo de proteína animal é limitado (Wander, 2004). Além disso, representa uma importante fonte de emprego e renda no campo. O consumo per capita de feijão no Brasil é em média de 15 kg/habitante/ano) (DEPEC, 2017). Os brasileiros preferem os

feijões do tipo carioca, e a área cultivada no Brasil com este tipo de grão é a maior em relação aos demais tipos (Delfini et al., 2021).

No cultivo de feijão pode ter três safras devido às condições climáticas. A 1ª Safra (águas) ocorre na época das chuvas regulares (satisfatório para a cultura), não havendo necessidade de irrigação, a semeadura ocorre entre agosto e novembro. Na 2ª Safra (seca ou safrinha) a semeadura ocorre entre fevereiro e março, nessa época as chuvas são escassas e tem a vantagem de se colher na seca, porém o rendimento é menor. Na 3ª Safra (inverno) a semeadura ocorre entre abril e maio, possui também a vantagem de se colher na seca, porém há necessidade de um sistema de irrigação (Chaim, 2011). Em 2019/2020 a 1ª Safra apresentou a segunda maior produção (34%), foi responsável por aproximadamente 31 % da área plantada e a produtividade média foi a segunda mais alta (1209 kg/ha). A maior produção foi na 2ª Safra com 39%, a área de plantio foi a maior (49%), porém a produtividade foi a mais baixa (874 kg/ha). A produção mais baixa foi na 3ª safra (27%), devido a menor área plantada (20%), pois a produtividade foi a mais alta (1496 kg/ha) (CONAB, 2021).

A planta de feijão é herbácea e anual, podendo ter o crescimento do tipo determinado ou indeterminado. O determinado apresenta o caule e os ramos laterais terminando em uma inflorescência com número limitado de nós, e floração iniciando-se do ápice para a base da planta. O indeterminado apresenta um caule principal com a célula de desenvolvimento vegetativo que permite um crescimento contínuo, numa sucessão de nós e entrenós; as inflorescências são axilares, isto é, desenvolvem-se nas axilas das folhas, e a floração ocorre a partir da base até o ápice da planta (Silva, 2007).

Essa cultura possui várias características de crescimento, que podem ser divididas em quatro tipos: Tipo I (plantas de crescimento determinado, arbustivo e porte da planta ereto); Tipo II (plantas de crescimento indeterminado, arbustivo, porte da planta ereto e caule pouco ramificado); Tipo III (plantas de crescimento indeterminado, prostrado ou semiprostrado, com ramificação bem desenvolvida e aberta) e Tipo IV (plantas de crescimento indeterminado, trepador, caule com forte dominância apical e número reduzido de ramos laterais, pouco desenvolvidos) (Fancelli e Neto, 2007). As cultivares mais plantadas no Brasil (preto e carioca) são

de hábito de crescimento indeterminado do tipo intermediário entre II e III (Cabrera et al., 2014; Melo et al., 2014).

O ciclo varia de 60 (superprecoce) a 115 dias (tardio), dependendo da cultivar, das condições ambientais e da época de plantio (Yokoyama, 2000; Aidar, 2003). Durante o desenvolvimento, a planta passa pelas fases: vegetativa (desdobramento das folhas primárias até o surgimento dos botões florais) e reprodutiva (botões florais até o enchimento de vagens e maturação dos grãos) (Fancelli e Neto, 2007; Barbosa e Gonzaga, 2012).

A planta de feijão possui alta exigência de nutrientes e alta sensibilidade a fatores climáticos e ambientais, tais como intensidade de luz, condição hídrica do solo e densidade de plantio. Sua produtividade também pode ser influenciada pela presença de patógenos, plantas daninhas, ácaros e insetos-pragas, destacando-se a lagarta-falsa-medideira *C. includens* que é uma importante praga desfolhadora do feijoeiro (Quintela, 2009; Barbosa e Gonzaga, 2012; Quintela e Barbosa, 2015).

## **2.2. A cultura da soja**

A soja (*Glycine max* (L.)) é uma planta originada da China, pertencente a classe das dicotiledôneas, família Fabaceae e subfamília Faboideae. A soja é uma das culturas mais cultivadas no mundo e é uma importante fonte de óleo vegetal e proteína para consumo humano e animal (aves, suínos, bovinos e peixes) (Bezerra, 2015). Em comparação com outras culturas, o grão de soja possui uma alta concentração de proteínas (40%) e óleo (20%) em sua composição, além de 30 % de carboidratos (Robert, 1986; Sugiyama et al., 2015; Silva et al., 2017; Turzi et al., 2017). A soja tem sido utilizada também na produção de biocombustível e em produtos cosméticos e farmacêuticos, gerando diversos empregos no Brasil e no mundo (Masuda e Goldsmith, 2009; Singh, 2010).

Na safra 2020/2021 a produção mundial de soja foi de 362,947 milhões de toneladas em uma área de 127,842 milhões de hectares (USDA, 2021). O Brasil é atualmente o maior produtor mundial do grão, a produção na safra 2020/2021 foi de 135,409 milhões de toneladas em uma área de 38,50 milhões de hectares (produtividade de 3,52 toneladas/ha). Os estados brasileiros que mais produzem soja

são Mato Grosso, Goiás, Paraná e Rio Grande do Sul (CONAB, 2021). Os EUA na safra 2020/21 foi o segundo maior produtor, com uma produção de 112,549 milhões de toneladas em uma área de 33,313 milhões de hectares (USDA, 2021).

A soja é uma planta autógama (se autofecunda) e herbácea com um caule ereto que varia entre 0,60 e 1,50 m de altura com várias ramificações laterais. Os ramos inferiores são mais alongados e todos os ramos são ligados aos nós, que formam ângulos variáveis com o caule principal (Sediyama, 1996; Missão, 2006). A maioria das folhas são trifolioladas, com pecíolo, dispostas alternadamente e compostas de três folíolos ovalados ou lanceolados, de comprimento entre 0,5 e 12,5 cm (Missão, 2006; Kumudini, 2010).

As flores da soja são dispostas em racínios axilares e terminais, podem ser amarelas, brancas ou violetas (Müller, 1981; Gomes, 1986; Missão, 2006). As vagens podem apresentar de duas a cinco sementes, cada planta pode ter até 400 vagens. As sementes são lisas, no formato ovoide, globoso ou elíptico, com um hilo pequeno no centro (Bergamin et al., 1999; Missão, 2006). A raiz da soja é do tipo pivotante, com uma raiz principal mais espessa de até 1,80 m de comprimento com ramificações laterais mais finas e presença de nódulos devido a associação com bactérias fixadoras de nitrogênio (Müller, 1981; Kumudini, 2010)

Existe uma grande variedade de genótipos de soja, que podem se diferenciar em vários fatores, por exemplo na produtividade, na resistência a fatores bióticos e abióticos e na duração do ciclo (varia de 100 a 160 dias) (Müller, 1981; Farias et al., 2007; Borém e Miranda, 2009; Embrapa, 2020). O ciclo da soja é dividido em fase vegetativa (da emergência até a abertura das primeiras flores) e fase reprodutiva (início da floração até o amadurecimento dos grãos). Na fase vegetativa os estádios são em ordem cronológica: VE (emergência e surgimento dos cotilédones acima da superfície do solo), VC (cotilédones se abrem completamente) e Vn (n é o número de nós no caule principal). Em V1 surge a única folha unifoliada e a partir de V2 em diante ocorre o aparecimento das folhas trifolioladas). Na fase reprodutiva os estádios são: R1 (surgimento da primeira flor), R2 (florescimento pleno), R3 (surgimento da primeira vagem), R4 (vagens desenvolvidas), R5 (início da formação dos grãos), R6 (grãos desenvolvidos), R7 (início da maturação das vagens), R8 (maioria das vagens maduras) (Fehr e Caviness, 1977).

A planta de soja é altamente influenciada por fatores do meio ambiente, tais como fotoperíodo, clima, condição hídrica, densidade de plantio, condições do solo, competição com plantas daninhas, dentre outros (Embrapa, 2020). Muitos fatores bióticos podem contribuir para a diminuição da produtividade e qualidade do grão de soja, como a ocorrência de fungos, vírus, bactérias e nematoides, que geram perdas anuais estimadas em 15 a 20% por safra (Almeida et al., 2005). Além disso, o cultivo dessa cultura é prejudicado pelo ataque de insetos-praga (Hoffmann-Campo et al., 2012). As principais pragas são *C. includens*, *Anticarsia gemmatalis* (Hübner, 1818) (Lepidoptera: Erebidae), lagartas do gênero *Spodoptera* spp., *Euschistus heros* (Fabricius, 1798) (Heteroptera: Pentatomidae) (Chocorosqui e Panizzi, 2004; Temple et al., 2013; Marques et al., 2016).

### **2.3. A cultura do milho**

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta monocotiledônea, cultivada em todo o mundo, pertencente à família Poaceae e subfamília Panicoideae (García-Díaz et al., 2020). Em muitos países esse cereal é considerado o alimento mais importante na dieta da população, devido ao baixo custo e ao alto valor energético e alimentar do grão. Além disso, essa cultura é utilizada na ração animal para produzir carne e na produção de mais de 150 produtos tais como fármacos, óleo, amido, biodegradáveis, álcool, plástico, adoçante, xarope, lisina, vitamina, combustível, entre outros. (Rosegrant et al., 2012; Duarte et al., 2015; Strazzi, 2015; Veljkovića et al., 2018). No mundo, cerca de 60% do milho é destinado à produção animal, 13,4% para o consumo humano e 15,5% para a produção de biocombustível (OECD-FAO, 2017).

Na safra 2020/21 foi produzido 1,14 bilhões de toneladas de milho no mundo, os países que mais produzem em ordem são: Estados Unidos, China, Brasil e Argentina, juntos representam aproximadamente 70% da produção mundial. Em 2020/21 os Estados Unidos produziram 368 e a China 260 milhões de toneladas (USDA, 2021). Na safra 2020/2021 foram produzidos no Brasil 87,10 milhões de toneladas, em uma área de 19,94 milhões de hectares, com produtividade de 4,37 toneladas/ha (CONAB, 2021). Os estados do Mato Grosso e Paraná são os maiores produtores. Na região central brasileira o milho é plantado em duas épocas diferentes,

no verão nos meses de outubro/novembro, que é um período mais chuvoso (primeira safra) ou em fevereiro/março (milho safrinha), que é plantado após a colheita da soja em um período mais seco (Embrapa, 2016).

A planta de milho é uma gramínea que possui uma haste ereta, robusta e sem perfilho com uma altura média de 2 metros. O colmo (haste) tem formato cilíndrico, constituído de nó e entrenó, em cada nó emerge as folhas com 90 cm de comprimento e aproximadamente 7 ou 9 cm de largura. Nas axilas das folhas surge a flor feminina (espiga) e no topo da planta surge a flor masculina (pendão). A raiz do milho é do tipo fasciculado e a maior parte encontra-se nos primeiros 30 cm de solo (Fornasier Filho, 2007).

O ciclo dos genótipos comerciais de milho pode variar de 100 a 160 dias, essa variação de dias e produtividade está relacionada com a interação dos diferentes genótipos com as variadas condições ambientais (Fancelli, 2015). Pela durabilidade do ciclo, as variedades podem ser superprecoce, precoce e normal (Fancelli e Dourado Neto, 2000). O período de emergência até o aparecimento da flor masculina é a fase vegetativa, que é dividida em estádios identificados como V<sub>n</sub>, onde n é o número de folhas expandidas ou desdobradas. A fase reprodutiva é o período após o surgimento da flor feminina até a maturação da espiga, os estádios são identificados como R1 (florescimento e polinização), R2 (grãos leitosos), R3 (grãos pastosos), R4 (grãos farináceos), R5 (grãos farináceos duros) e R6 (maturidade fisiológica) (Kiniry e Bonhomme, 1991; Fancelli, 2013).

No cultivo de milho, diversos insetos-praga pode provocar grandes perdas na colheita para o agricultor. Dentre as pragas que atacam essa cultura, destaca-se a lagarta-do-cartucho, *S. frugiperda*. Esse lepidóptero causa danos em todos os estádios de desenvolvimento do milho e podem causar reduções de produtividade de até 60% (Barros et al., 2010; Valicente, 2015). Esse inseto se aloja no interior do cartucho do milho, e conseqüentemente dificulta o seu controle com inseticidas químico.

Outro método muito utilizado para o controle dessa lagarta é o plantio do milho transgênico que expressa as proteínas inseticidas de *Bacillus thuringiensis* (Berliner, 1915) (Bacillales: Bacillaceae) (Bt) (Miraldo et al., 2016). O uso de plantas Bt tem sido bem-sucedidas no controle de *S. frugiperda* (Okumura et al., 2013; Bernardi et al.,

2015a). Entretanto, a expressão contínua das proteínas de *B. thuringiensis* impõe uma forte pressão de seleção nas populações das pragas, favorecendo a evolução da resistência (McGaughey e Whalon, 1992). No Brasil, a lagarta-do-cartucho desenvolveu resistência ao milho Cry1F (Farias et al., 2014) e ao milho Cry1Ab (Omoto et al., 2016) e nos EUA ao milho Cry1F (Huang et al., 2014).

#### **2.4. Lagarta-falsa-medideira (*Chrysodeixis includens*)**

A lagarta-falsa-medideira é encontrada somente no Hemisfério Ocidental, podendo ocorrer do norte dos Estados Unidos até o sul da América do Sul (Kogan, 1981; Alford e Hamond, 1982). No Brasil é encontrada em todas as regiões produtoras (Marsaro Junior et al., 2010; Specht et al., 2015; Santos et al., 2017). Essa lagarta é polífaga e vem causando prejuízo em diversas culturas, incluindo o feijoeiro, a soja, o algodoeiro, o fumo, o girassol e diversas hortaliças (Barrionuevo et al., 2012; Hunt e Baldin, 2012). É um inseto que pode atacar 73 espécies de plantas no Brasil, pertencentes a 29 famílias (Bernardi, 2012; CAB International, 2016).

Esse inseto surgiu nas lavouras de soja como uma praga secundária (Hoffmann-Campo et al., 2012). Porém, com o uso excessivo de agroquímicos de amplo espectro como inseticidas e fungicidas (principalmente para controlar a ferrugem asiática) houve uma redução na população de inimigos naturais de *C. includens*, destacando o fungo entomopatogênico *Metarhizium rileyi* (Farlow e Samson, 1974) (Hypocreales: Clavicipitaceae) (Embrapa, 2009; Moscardi, 2009; Bernardi et al., 2012; Sosa-Gómez, 2013; Spechta et al., 2015). Portanto a partir de 2012, as populações dessa lagarta aumentaram, e migraram para outras culturas espalhadas pelo Brasil (Bernardi et al. 2012; Baldin et al., 2014; Bortolotto et al., 2015).

Os ovos desse inseto são globulares, com  $0,58 \pm 0,01$  mm de diâmetro e altura de  $0,42 \pm 0,02$  mm e apresenta coloração creme-clara no início e marrom-clara próximo à eclosão (Barrionuevo e San Blas, 2016). A oviposição é feita durante a noite. Em criações de *C. includens* no laboratório, com temperatura de 25° C, o período de incubação dos ovos é de três dias. A viabilidade dos ovos varia de 39,7 a 100 %, dependendo dos métodos utilizados nas pesquisas (Mitchel, 1967; Jensen et al., 1974; Young e Yearian, 1982; Beach et al., 1985).

As lagartas recém-eclodidas são de coloração verde-clara, com linhas longitudinais brancas e pontuações pretas, no último estágio larval atingem de 40 a 45 mm de comprimento (Sosa-Gómez et al., 2010; Barrionuevo e San Blas, 2016). A fase larval apresenta um total de cinco instares, em cada instar, a lagarta sofre mudanças na coloração, de verde amarronzada-clara, para verde-limão translúcida (Smilowitz, 1973; Barrionuevo e San Blas, 2016). A duração da fase larval é variável, experimentos com *C. includens* mostraram que criações com folha de soja e dieta artificial apresentaram uma duração média de 13,2 e 14,2 dias, respectivamente (Kidd e Orr, 2001). No estágio larval esse inseto apresenta somente três pares de pernas abdominais, fazendo com que se movimente de uma forma típica, parecendo medir palmos.

No estágio pré-pupa a lagarta se envolve em uma teia de coloração branca até se transformar em pupa, geralmente na face abaxial das folhas (Sosa-Gómez et al., 2010). O período pupal dura de 7 a 9 dias (Vazquez, 1988).

As mariposas (adultos) possuem 35 mm de envergadura de asas. As asas anteriores são escuras e com duas manchas prateadas na parte central, as asas posteriores são marrons (Sosa-Gómez et al., 2010). A longevidade dos adultos é variável, pode ser de 9,8 a 18,2 dias (Mason e Mack, 1984), dependendo da temperatura e da planta hospedeira. Cada fêmea pode depositar de 144 a 1953 ovos, sendo a maioria (80 a 90%) depositados até o sétimo dia (Vázquez, 1988). Em repouso as mariposas apresentam 3 tufos de pelos: o primeiro sobre o prototórax próximo à cabeça, o segundo logo após o primeiro tufo e o terceiro na parte final do abdômen (Barrionuevo e San Blas, 2016).

As lagartas de *C. includens* preferem se alimentar das folhas do terço inferior das plantas. Do primeiro ao terceiro instar, as lagartas buscam folhas mais novas, que são menos fibrosas (Kogan e Cope, 1974; Bernardi, 2012), nesse período apenas raspam as folhas. A partir do quarto instar conseguem perfurar o tecido vegetal, as nervuras centrais e laterais permanecem intactas, com isso as folhas apresentam um aspecto rendilhado (Herzog, 1980; Bueno et al., 2007; Bueno et al., 2011). Somente uma lagarta pode consumir de 80 a 200 cm<sup>2</sup> de área foliar durante toda a fase larval (Boldt et al., 1975; Casmuz et al., 2009; Bueno et al., 2011). Em instares mais avançados as lagartas se tornam menos exigentes e se alimentam de folhas mais

velhas e com maior teor de fibra (Strayer e Greene, 1974; Bernardi, 2012). Os danos de *C. includens* reduzem a área fotossintética das plantas, causando perdas na produção, principalmente se o ataque ocorrer na fase reprodutiva, esse inseto pode ter até quatro gerações em uma safra (Burleigh, 1972). Essa espécie é favorecida em lavouras biologicamente desequilibradas, com baixa umidade e sem inimigos naturais (predadores, parasitoides e fungos entomopatogênicos) (Embrapa, 2009).

O uso de soja geneticamente modificada que expressa a proteína Cry1Ac de *B. thuringiensis* e a aplicação de inseticidas sintéticos são os métodos mais utilizados para controlar a lagarta-falsa-medideira. No entanto, essa praga está adquirindo resistência aos inseticidas e o hábito de se abrigarem abaixo das folhas nos terços médio ou inferior dificultam o contato com o produto (Bernardi et al., 2012; Baldin et al., 2014; Specht et al., 2015). O uso de genótipos resistentes e o controle biológico podem ser alternativas ao controle químico, porém o uso de biopesticidas ainda é pouco utilizado para controlar *C. includens* (Bernardi et al., 2012; Bueno et al., 2012; Smith e Clement, 2012; Morando et al., 2015; Schlick-Souza et al., 2017).

## **2.5. Lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*)**

*S. frugiperda* popularmente conhecida como lagarta-do-cartucho, é considerada uma das principais pragas em diversas culturas, podendo se alimentar de mais de 80 espécies de plantas, incluindo o algodoeiro, o milho e a soja (Pogue, 2002; Capinera, 2008). Este inseto está amplamente distribuído nos Estados Unidos, América Central, Brasil e Argentina (Sparks, 1979; Ashley et al., 1989; Nagoshi e Meagher, 2008; Nagoshi et al., 2017). Recentemente, essa praga foi introduzida na África e na Ásia, e agora está se espalhando por esses continentes, representando uma ameaça significativa à segurança alimentar do mundo (Stokstad, 2017; Physorg, 2018).

Na cultura do milho essa lagarta causa perdas significativas na produtividade, provocando danos na planta em todos os seus estádios fenológicos (Valicente, 2015). Preferem se alimentar do cartucho de plantas mais novas, podendo causar a morte quando a infestação ocorre no início de desenvolvimento da cultura (até 30 dias) (Monnerat et al., 2015). Geralmente, os ataques de *S. frugiperda* provocam perdas de

17% a 38,7% na produção do milho. O grau de prejuízo no rendimento depende da cultivar, das condições ambientais e do estágio de desenvolvimento das plantas atacadas (Valicente, 2015).

O controle é realizado principalmente com a aplicação de inseticidas químicos e o plantio de plantas geneticamente modificadas que expressam as toxinas de *Bacillus thuringiensis* (Bt) (Valicente, 2015; Carrière et al., 2016). No entanto populações resistentes a essas tecnologias estão sendo observadas no campo devido à alta pressão de seleção. Além disso, as falhas no manejo de plantas Bt (não uso do refúgio) e a aplicação inadequada de inseticidas aliado a plasticidade genética e a alta fecundidade da praga também vem contribuindo para o aparecimento de lagartas resistentes (Nascimento et al., 2016; Figueiredo et al., 2019; Gutiérrez-Moreno et al., 2019; Gómez et al., 2020). No Brasil existe uma grande oferta de plantas hospedeiras, por causa da rotação de culturas, com isso aumenta a movimentação do inseto entre os cultivos e dificulta o manejo (Nagoshi, 2007).

A *S. frugiperda* é um inseto com metamorfose completa (holometábolos), ou seja, em todo seu ciclo de vida passa por quatro fases de desenvolvimento: Ovo, larva, pupa e adulto (Luginbill, 1928). Os adultos são mariposas de coloração cinza-escura com asas anteriores mosqueadas e posteriores esbranquiçadas, com bordas acinzentadas (King e Saunders, 1984). Os machos apresentam asas anteriores com duas manchas mais claras, o que não é presente nas fêmeas (Cruz, 1995). Os adultos têm hábito noturno, movimentando-se perto das plantas mais favoráveis à sua alimentação e oviposição (Cruz, 1995). Os adultos possuem comportamento migratório com alta capacidade de dispersão, o que permite que essa praga se espalhe rapidamente nas lavouras (Nagoshi e Meagher, 2004). A longevidade dos adultos dura em média 12 dias e o período de oviposição começa no terceiro ou quarto dia após a emergência das fêmeas (Cruz, 1995).

Após o acasalamento, as fêmeas realizam a oviposição preferencialmente na face inferior das folhas (Boiça Júnior et al., 2013). O número de posturas é muito variável, podendo chegar até 13 posturas por fêmea (Cruz, 1995). As massas são irregulares e contêm de 30 a 300 ovos cada (King e Saunders, 1984). O ovo é de coloração verde-clara, passando para uma coloração creme após 12 ou 15 horas e, quando próximo à eclosão das lagartas, mostra-se escurecido, devido à cabeça negra

da lagarta (Sisodiya et al., 2018). A massa de ovos é coberta por uma camada fina de escamas, colocada pela fêmea na oviposição que ajuda na proteção (Toonders e Sánchez, 1987; Sisodiya et al., 2018). O período de incubação é de três dias em uma temperatura de 25°C (Cruz, 1995). Todavia, esse período é influenciado principalmente pela temperatura (Luginbill, 1928; Labrador, 1967) e umidade relativa (Cruz, 1995).

As lagartas recém-eclodidas são esbranquiçadas, possuem cabeça mais larga do que o corpo e apresentam proporcionalmente mais setas (pelos) que os instares mais avançados (Cruz et al., 1997). No primeiro instar o comprimento do corpo e a largura da cápsula cefálica medem, respectivamente, 1,9 mm e 0,3 mm. Nessa fase de desenvolvimento as lagartas fazem raspagem nas folhas e, quando aumentam de tamanho, iniciam a perfuração das folhas e se direcionam para a região do cartucho das plantas. No segundo instar, as lagartas possuem um sombreamento marrom no dorso, e medem de 3,5 a 4,0 mm de comprimento. No terceiro instar, adquirem coloração marrom-clara no dorso e esverdeada ventralmente, com linhas dorsais e subdorsais brancas. No quarto instar, as lagartas atingem 10 mm de comprimento e apresentam coloração marrom escura no dorso e cápsula cefálica marrom avermelhada. No quinto instar, as lagartas são semelhantes às do estágio anterior, todavia, são mais escuras e maiores. No sexto instar, as lagartas apresentam um Y invertido esbranquiçado evidente na cabeça, têm o dorso marrom-acinzentado e as partes ventral e subventral esverdeadas, com manchas marrom-avermelhadas nessa última região (Sisodiya et al., 2018; Trisyono et al., 2019). Nesse último instar, o comprimento do corpo e a largura da cápsula cefálica medem, respectivamente, 50 mm e 2,75 mm (Cruz, 1995). Em milho, a duração do período larval pode variar de 12,0 a 17,8 dias (Viana e Potenza, 2000; Sá et al., 2009). Em plantas de soja, a duração média da fase larval é de 14,0 dias (Sá et al., 2009). O período larval também pode variar dependendo dos cultivares de cada cultura (Veloso, 2010).

Ao final do último instar, as lagartas penetram no solo, onde se transformam em pupas. A pupa é de coloração verde-clara, com o tegumento transparente logo após sua formação, mas depois de alguns minutos torna-se alaranjada e quando próxima à emergência do adulto torna-se marrom escura, quase preta (Cruz, 1995;

Sisodiya et al., 2018). O período pupal é de 8 dias no verão, sendo de 25 dias no inverno, após o qual ocorre a emergência dos adultos (Miranda, 2006).

O ciclo completo de desenvolvimento de *S. frugiperda* é influenciado pela cultura e cultivar onde ela se alimenta sendo de aproximadamente 30 dias na cultura do milho (Cruz, 1995) e 24,2 a 26,3 dias em plantas de soja (Veloso, 2010). O número de gerações de *S. frugiperda* que ocorre durante o ano depende do hábitat, podendo haver seis ou mais gerações no ano todo, caso tenha oferta de alimento (Boiça Júnior et al., 2006).

## **2.6. Fungos micorrízicos arbusculares**

Vários estudos demonstraram que a biota do solo desempenha um papel fundamental na produtividade das culturas (Bender e Van der Heijden, 2015; Zhang et al., 2019). Entre esses microrganismos, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) do filo Glomeromycota são essenciais para as culturas agrícolas (Xiao et al., 2019). Os FMA são simbioses obrigatórios, encontrados em diversos tipos de solo (Jansa et al., 2009; Bernaola et al., 2018) e compartilham uma longa história de coevolução com as plantas em vários ecossistemas (Gosling et al., 2006). Os FMA formam associações mutualísticas com as raízes de 80% das plantas terrestres, incluindo importantes culturas agrícolas (Brundrett, 2002; Smith & Read, 2008; Zubek et al., 2016). Essa endossimbiose radicular entre plantas e FMA é considerado a mais abundante no reino vegetal (Willis et al., 2013).

A associação é benéfica para ambos, os FMA ajudam as plantas na absorção de nutrientes e água do solo, e em troca recebem carbono assimilado pela fotossíntese (Johnson et al., 1997; Cardoso e Kuyper, 2006; Smith e Read, 2008; Currie et al., 2011; Barber et al., 2013; Luginbuehl et al., 2017). Esse carbono assimilado pelas plantas é usado pelos FMA para desenvolver complexas redes miceliais na região da rizosfera e permite que as raízes das plantas explorem e absorvem mais macronutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo) e micronutrientes do solo (Bonfante e Genre, 2008; Parniske, 2008; Smith e Read, 2008; Smith et al., 2011; Sikes et al., 2014; Yang et al., 2015; Bagyaraj et al., 2015; Millar et al., 2016). Devido a essa associação, o desenvolvimento e produção das culturas

muitas vezes aumenta (Gosling et al., 2006). Alguns estudos demonstraram que plantas de soja colonizadas com FMA tiveram um maior peso seco da parte aérea (Meghvansi e Mahna, 2009) e peso dos grãos (Meghvansi et al., 2008) em relação a plantas não colonizadas.

A troca de nutrientes entre os simbiossitos ocorre no interior das células do córtex interno da raiz, através de uma estrutura altamente ramificada formada pelos FMAs, chamada de arbúsculo (Harrison, 2005; Parniske, 2008; Gutjahr e Parniske, 2013). Essa estrutura é formada durante o processo simbiótico, ocorre a diferenciação da hifa em apresório e posterior penetração nas raízes por pressão mecânica e degradação enzimática. Após a penetração ocorre a colonização do apoplasto e das células do córtex formando os arbúsculos através da penetração das células corticais pela hifa causando invaginação da plasmalema. As hifas produzidas pelo fungo podem crescer por dentro ou fora das células da planta. (Hoffmann e Lucena, 2006). Os micélios dos FMAs são formados por hifas cenocíticas (não septadas), algumas espécies formam estruturas globosas inter ou intracelulares, conhecidas como vesículas, que armazenam os nutrientes (rica em lipídeos). Os FMA também podem formar esporos entre as células do córtex da raiz e no solo na região em volta da raiz (Bonfante et al., 2008).

Com uma maior absorção de nutrientes e água, as plantas são capazes de aumentar o crescimento e resistência aos estresses abióticos (Hajiboland et al., 2013; Abdel et al., 2016; Moradtalab et al., 2019) e bióticos incluindo ao ataque de patógenos e insetos que se alimentam da raiz e da parte aérea (Gange, 2001; Pozo e Azcon-Aguilar, 2007; Smith e Read, 2008; Campos-Soriano et al., 2011; Vannette e Hunter, 2011; Jung et al, 2012; Schoenherr et al., 2019).

Porém os efeitos dessa resistência aos estresses bióticos dependem das espécies envolvidas (FMA, plantas, insetos e patógenos) e das condições ambientais da lavoura (Gange e West, 1994; Gange, 2001, 2007; Gange et al., 2002; Bennett et al., 2006; Borowicz, 2009; Gehring e Bennett, 2009; Koricheva et al., 2009; Pineda et al., 2010; Campos-Soriano et al., 2011; Currie et al., 2011; Vannette e Hunter, 2011).

Práticas agrícolas como a rotação de culturas, uso de culturas de cobertura na entressafra para acrescentar biomassa vegetal no solo, pode aumentar a diversidade, abundância e colonização de FMA (Oehl et al., 2003, 2010; Hijri et al., 2006, Cofré et

al., 2017). Em contrapartida, a monocultura, solos sem cobertura e aplicações intensivas de nutrientes inorgânicos como fósforo e nitrogênio pode reduzir FMA na área (Lehman et al., 2012; Spagnoletti et al. 2018; Higo et al., 2018).

A colonização de FMA nas raízes pode alterar a quantidade e qualidade nutricional das plantas e influenciar no ataque de patógenos e insetos herbívoros (Goverde et al., 2000; Gange, 2001; Bennett et al. 2006; Koricheva et al., 2009; Currie et al., 2011). Estudos com soja, demonstraram que plantas colonizadas com FMA, tiveram um aumento de nitrogênio e fósforo em sua composição (Grümberg et al., 2015; Cely et al., 2016).

Além disso os FMA podem alterar o metabolismo secundário das plantas (Hohnjec et al., 2005; Walker et al., 2012), como aumentar as concentrações de hormônios endógenos que pode influenciar na alimentação e desenvolvimento dos insetos herbívoros (Nishida et al., 2010; Gao et al., 2014; Tomczak et al., 2016), e também alterar a concentração e composição dos terpenóides liberados (Copetta et al., 2006; Khaosaad et al., 2006; Kapoor et al., 2007; Rapparini et al., 2008). Os terpenóides alteram a atratividade da planta e o comportamento do inseto (Schausberger et al., 2012; Babikova et al., 2014; Shrivastava et al., 2015; Ulhoa et al., 2020). Podem ter efeito indireto atraindo predadores e parasitóides da praga e efeito direto repelindo as pragas (Gange et al., 2003; Guerrieri et al., 2004; Laird e Addicott, 2007).

Plantas colonizadas por FMAs também podem ser mais atraentes e suscetível a insetos-pragas e patógenos (Roger et al., 2013) ou não ter nenhum efeito (He et al., 2017). Alguns estudos apontam uma tendência de insetos mastigadores polívoros serem afetados negativamente e insetos mastigadores monófagos serem afetados positivamente (Koricheva et al., 2009). Entender as interações entre plantas, FMA e insetos, são importantes para o MIP, pois os FMA podem não só aumentar a produtividade das culturas, mas também induzir respostas de defesa (Nogales et al., 2009; Pozo et al., 2015).

## 2.7. Silício

Silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre (28%), atrás apenas do oxigênio em abundância (Richmond e Sussman, 2003; Epstein, 2009). Esse elemento é encontrado na natureza principalmente na forma de silicatos e dióxido de silício (Atta et al., 2019). Entretanto, a maioria das formas de Si disponíveis, as raízes das plantas não conseguem absorver. A disponibilização para os vegetais ocorre através dos longos processos de intemperização (Epstein, 1994). A maioria dos solos contém concentrações de Si que variam de 14 a 20 mg / L (Broadley et al., 2012). As três formas gerais encontradas no solo são o ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ), ácido polissilícico  $[Si(OH)_4]_x$ , e sílica amorfa ( $SiO_2$ ) (Bauer et al., 2011). O Si é absorvido no solo pelas plantas somente como ácido monossilícico, que é formado no solo quando o pH está abaixo de 9 (Paye et al., 2018).

Após a absorção, o  $H_4SiO_4$  é transportado através do xilema para o caule e as folhas das plantas (Agostinho, 2016). Ao atingir os espaços intercelulares e paredes celulares da epiderme, o silício é polimerizado e depositado como sílica amorfa ( $SiO_2 \cdot nH_2O$ ) (Meena et al., 2014). Com isso é formado uma barreira mecânica (Massey e Hartley, 2009), que torna os tecidos das plantas mais resistentes a infecção de patógenos como fungos, bactérias, vírus e nematoides (Cruz et al., 2014; Holz et al., 2015; Zhan et al., 2018; Jiang et al., 2019). Além disso, dificulta a alimentação e digestão dos insetos herbívoros (Alhousari e Greger, 2018), atrapalhando o seu desenvolvimento (Hou e Han, 2010). Diversos trabalhos demonstraram que a aplicação no solo ou foliar de Si pode aumentar a resistência de plantas a insetos-pragas mastigadores (Kvedaras et al., 2007; Han et al., 2015; Alvarenga et al., 2017; Villegas et al. 2017; Nascimento et al., 2018, Sousa et al., 2021) e sugadores (Dias et al., 2014; Almeida et al. 2015; He et al., 2015; Souza et al. 2016).

O ácido monossilícico absorvido pelas plantas, também pode induzir as defesas do tipo constitutiva (sem injúria) e induzida (com injúria) por processos fisiológicos e bioquímicos (Ma et al., 2004; Liang et al., 2015). O Si pode desencadear a produção de fitohormônios promotores de resistência, enzimas defensivas e voláteis que repelem os insetos herbívoros e atraem seus inimigos naturais (Gomes et al. 2005; Ranger et al., 2009; Kvedaras et al., 2010; Peixoto et al., 2011; Reynolds et al. 2016).

O Si não é considerado essencial fisiologicamente para o desenvolvimento das plantas, mas há diversos relatos que esse elemento é benéfico para as plantas. Além de aumentar a resistência aos estresses bióticos, esse elemento ajuda as plantas a resistirem à seca (Chen et al., 2011), à salinidade (Liu et al., 2015) e à deficiência ou à toxicidade mineral (Farooq et al., 2016). Pode aumentar a qualidade e a fertilidade do solo e a eficiência do uso de fertilizantes na agricultura (Agostinho, 2016). A deposição de Si nos tecidos vegetais torna as folhas mais eretas, diminuindo o sombreamento e aumentando a fotossíntese (Epstein, 1994). Portanto, as culturas tratadas com Si podem ter uma melhora no desenvolvimento e na produtividade no campo (Walsh et al., 2018)

A quantidade de Si absorvido pode variar de acordo com a espécie, genótipo e estágio da planta. Além disso, a concentração de Si no solo e as condições ambientais são fatores que também influenciam na absorção (Chen et al., 2018). Muitas plantas acumulam uma quantidade significativa de Si em seus tecidos (Ma e Takahashi, 2002). Em geral, as gramíneas (monocotiledôneas) como o milho absorvem e acumulam mais Si do que dicotiledôneas como a soja (Ma e Yamaji, 2015). As plantas são classificadas de acordo com a porcentagem (%) de Si no peso seco, como acumuladores (acima de 1,0 %), intermediários (0,5% a 1,0%) e não acumuladores (abaixo de 0,5%) (Ma e Takahashi, 2002; Kaur e Greger, 2019).

A fonte de Si pode ser adquirida pelos produtores por um preço relativamente barato e esse elemento não deixa resíduos tóxicos nos alimentos e no meio ambiente (Ukwungwu, 1990). A aplicação desse elemento pode ser integrada a outros métodos de controle como o cultural, o químico e o biológico no manejo integrado de pragas.

## **2.8. Resistência constitutiva e induzida de plantas a insetos-pragas**

As plantas em uma lavoura estão constantemente sujeitas a diferentes estresses bióticos e abióticos durante todo o seu ciclo. Estresses bióticos são provocados principalmente por insetos-praga, ácaros e patógenos (bactérias, vírus, fungos, nematoides). Estresses abióticos são aqueles causados por mudanças de temperatura, falta de luminosidade, deficiência hídrica e nutricional (Kefeli et al.,

2007). Todos estes fatores são responsáveis pela redução na produtividade de culturas importantes em todo o mundo.

Para se proteger ao ataque de insetos herbívoros, as plantas desenvolveram diferentes mecanismos de defesa, os quais podem ser constitutivos ou induzidos. Mecanismos constitutivos são aqueles que são continuamente expressos e independe de algum estresse biótico (injúria de insetos) ou abiótico. Enquanto, os mecanismos induzidos são expressos somente quando ocorre algum estresse (Stout, 2013; Boiça Júnior et al., 2019). Em ambos os mecanismos de defesa a ação sobre o agente agressor pode ser direta ou indireta

A defesa direta das plantas contra insetos pode ser de natureza física ou química (Kessler e Baldwin, 2002). Na defesa física as plantas podem utilizar de suas características morfológicas tais como espinhos, pilosidades, tricomas ou aumentar a deposição de substâncias químicas como cutinas, ceras e silicatos nas folhas formando uma “barreira” física. Todas estas características físicas têm um efeito direto sobre o inseto agressor impedindo ou evitando a sua atuação na planta (Baldin et al., 2018; Baldin et al., 2019). Na defesa química direta as plantas produzem compostos voláteis e não voláteis nos locais da injúria ou de forma sistêmica. Esses compostos químicos podem repelir ou afetar o desenvolvimento dos insetos herbívoros, através da toxicidade ou reduzindo a digestibilidade dos tecidos vegetais (De Moraes et al., 1998; Moraes et al., 2005, 2008; Poelman e Dicke, 2014; Ulhoa et al., 2020).

As defesas indiretas agem principalmente atraindo organismos do terceiro nível trófico, os inimigos naturais dos insetos herbívoros (parasitoides ou predadores). As plantas produzem compostos voláteis derivados do metabolismo secundário que são sinais que ajudam os inimigos naturais a localizarem seus hospedeiros ou presas (Turlings e Erb, 2018; Ulhoa et al., 2020). Além disso, as plantas podem fornecer abrigo e nectários extraflorais que são usados como alimento alternativo aos inimigos naturais (Yamawo e Suzuki, 2018).

A resistência de plantas a insetos é classificada em três tipos: antixenose, antibiose e tolerância (Smith, 2005; Stout, 2013). A antixenose é quando a planta evita o inseto para alimentação, abrigo e oviposição, geralmente é causado por características físicas da planta ou por compostos voláteis liberados pela planta. A resistência do tipo antibiose afeta negativamente a biologia dos insetos devido às

características da planta. Ao se alimentar, os insetos diminuem o potencial reprodutivo, devido a fatores como: mortalidade elevada da fase imatura, baixa emergência de adultos, redução no tamanho e peso dos indivíduos, além de alterações na longevidade, oviposição, mortalidade, fecundidade e alongamento de ciclo. As causas da antibiose estão relacionadas principalmente à presença de compostos químicos das plantas. A tolerância ocorre quando um genótipo é menos danificado que os demais em condições iguais de infestação dos insetos e sem que haja efeito no comportamento ou na biologia desses. 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 (Boiça Júnior et al., 2012; Baldin et al., 2018; Boiça Júnior et al., 2018; Baldin et al., 2019; Ulhoa et al., 2020).

Quando uma planta é considerada resistente, ela expressa características fenotípicas codificadas por genes específicos em seu genoma, que causam menor dano por insetos herbívoros em comparação a plantas submetidas às mesmas condições (Boiça Júnior et al., 2017b). Portanto a avaliação e seleção de plantas resistentes a insetos deve ser comparativa com genótipos suscetíveis e resistentes sob condições experimentais semelhantes (Smith, 2005).

Plantas resistentes a insetos apresentam diversas vantagens, entre elas reduzir as populações das pragas, sem causar sérios desequilíbrios nos agroecossistemas. Diminui a aplicação de inseticidas químicos e conseqüentemente abaixa os custos de produção, não acumula resíduos tóxicos nos alimentos e no meio ambiente. Além disso, a utilização é simples (não precisa de muito conhecimento do agricultor) e não interfere na colheita (sem período de carência). O uso de resistência de plantas a insetos pode ser incorporado no Manejo Integrado de Pragas (MIP), conjuntamente com outros métodos como inseticidas químicos seletivos, controle biológico, controle cultural, controle comportamental com o uso de feromônios e outros. Apesar de muitas vantagens, é importante entender que uma variedade resistente a inseto pode não ser altamente produtiva e não ter resistência a todas as pragas, a fitopatógenos ou estresses abióticos, por isso é importante avaliar outros parâmetros. No desenvolvimento de uma cultivar, o melhoramento para transferir as características genéticas de resistência (cruzamentos) é um processo que demanda tempo. Além

disso, em uma lavoura com monocultivo (apenas um genótipo) pode causar desequilíbrio nos agroecossistemas, influenciando não só as pragas, mas também os inimigos naturais (Smith, 2005; Vendramim e Guzzo, 2009; Boiça Júnior et al., 2013; Mitchell et al., 2016; Baldin et al., 2019).

## 2. Referências

Abdel A, Abdel H, Hashem A, Rasool S, Fathi E, Allah A (2016) Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis and Abiotic Stress in Plants. **Annual Review of Plant Biology** 59: 407.

Agostinho FB (2016) **Evaluation of Absorption and Uptake of Soil- and Foliar-Applied Silicon in Rice and its Accumulation under Different Phosphorus Rates.** LSU Master's Theses. 3519.

Aidar H (2003) Cultivo do feijoeiro comum: características da cultura. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/index.htm> >. Acessado em: 22 de novembro 2021.

Alford AR, Hammond Junior AM (1982) Plusiinae (Lepidoptera: Noctuidae) populations in Louisiana soybeans ecosystems as determined with looplurebaited traps. **Journal of Economic Entomology** 75:647-650.

Alhousari F, Greger M (2018) Silicon and Mechanisms of Plant Resistance to **Insect Pests**. *Plants* 7:33.

Almeida ACS, Silva LP, Jesus FG, Nogueira L, Sousa Neto M, Cunha PCR (2015) Efeito de indutores de resistência em híbridos de milho na atratividade do pulgão *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae). **Agrarian** 8: 23-29.

Almeida AMR, Ferreira LP, Yorinori JT, Silva JEV, Henning AA. Doenças da Soja. In: Kimati H, Amorin L, Rezende, JAM, Bergamin AF, Camargo LEA (2005) Manual de fitopatologia. **Doenças das plantas cultivadas**. 4 ed. São Paulo: Agronômica Ceres 2: 569-588.

Alvarenga R, Moraes JC, Auad AM, Coelho M, Nascimento AM (2017) Induction of resistance of corn plants to *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) by application of silicon and gibberellic acid. **Bulletin of Entomological Research** 1- 7.

Ashley TR, Wiseman BR, Davis FM, Andrews KL (1989) The fall armyworm: a bibliography. **Florida Entomologist** 72: 152-202.

Atta B, Rizwan M, Sabir M, Gogi MD, Ayu M (2019) Silicon mediated induced resistance in plants for the management of agricultural insect pests: A review. **World Journal of Biology and Biotechnology** 4(1):19-28.

Babikova Z, Gilbert L, Randall KC, Bruce TJA, Pickett JA, Johnson D (2014) Increasing phosphorus supply is not the mechanism by which arbuscular mycorrhiza increase attractiveness of bean (*Vicia faba*) to aphids. **Journal of Experimental Botany** 65: 5231–524.

Bagyaraj DJ, Sharma MP, Maiti D (2015) Phosphorus nutrition of crops through arbuscular mycorrhizal fungi. **Current Science** 10:1288–1293.

Baldin ELL, Lourenção AL, Schlick-Souza EC (2014) Outbreaks of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) in common bean and castor bean in São Paulo State, Brazil. **Bragantia** 73: 458–461.

Baldin ELL, Stamm M, Mitchell D, Bentivenha JPF, Koch KG, Heng-Moss TM, Hunt TE (2018) Feeding Behavior of *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae) on Soybeans Exhibiting Antibiosis, Antixenosis, and Tolerance Resistance. **Florida Entomologist** 101: 223-228.

Baldin ELL, Vendramin JD, Lourenção AL (2019) **Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações**. Piracicaba: FEALQ, 493p.

Barber NA, Kiers ET, Theis N, Hazzard RV, Adler LS (2013). Linking agricultural practices, mycorrhizal fungi, and traits mediating plant– insect interactions. **Ecological Applications** 23:1519–1530.

Barbosa FR e Gonzaga ACO (2012) **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 247 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documento, 272).

Barrionuevo MJ, Murua MG, Goane L, Meagher R, Navarro F (2012) Life table studies of *Rachiplusia nu* (Guenee) and *Chrysodeixis* (= *Pseudoplusia includens* (Walker)) (Lepidoptera: Noctuidae) on artificial diet. **Florida Entomologist** 95: 944–951.

Barrionuevo MJ, San Blas G (2016) Redescription of immature stages of the soybean looper (Lepidoptera: Noctuidae: Plusiinae) **The Canadian Entomologist** 148: 247–259.

Barros EM, Torres J, Bianco B, Bueno AF (2010) Oviposition, development and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different hosts of economic importance. **Neotropical Entomology** 39:996-1001.

Bauer P, Elbaum R, Weiss IM (2011) Calcium silicon mineralization in land plants: transport, structure and function. **Plant Science** 180:746–56.

Beach RM, Todd JW, Baker SH (1985) Antibiosis of four insect resistant soybean genotypes to the soybean looper (Lepidoptera Noctuidae). **Environmental Entomology** 14: 531-534.

Bender SF, Van der Heijden KG (2015). Soil biota enhance agricultural sustainability by improving crop yield, nutrient uptake and reducing nitrogen leaching losses. **Journal Applied Ecology** 52:228-239.

Bennett AE, Bever JD (2007) Mycorrhizal species differentially alter plant growth and response to herbivory. **Ecology** 88: 210–218.

Bergamin M, Cancian MA, Castro PRC (1999) Soja (*Glycine max* (L.) Merrill). In.: Castro PRC, Kluge RA (Eds.) **Ecofisiologia dos cultivos anuais: trigo, milho, soja, arroz, mandioca**. São Paulo: Nobel. p. 73-89.

Bernaola L, Cosme M, Schneider RW, Stout M (2018) Natural Colonization of Rice by Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Different Production Areas. **Frontier in Plant Science** 25:169–174.

Bernardi O, Sorgatto RJ, Barbosa AD, Domingues FA, Dourado PM, Carvalho RA, Martinelli S, Head GP, Omoto C (2014) Low susceptibility of *Spodoptera cosmioides*, 18 *Spodoptera eridania* and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to genetically-modified soybean expressing Cry1Ac protein. **Crop Protection** 58:33-40.

Bernardi O, Bernardi D, Amado D, Sousa RS, Fatoletto J, Medeiros FCL, Conville J, Burd T, Omoto C (2015a) Resistance risk assessment of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) to Vip3Aa20 insecticidal protein expressed in corn. **Journal Economical Entomology**. 108: 2711-2719.

Bernardi O, Bernardi D, Ribeir RS, Okuma DM, Salmeron E, Fatoletto J, Medeiros FCL, Burd T, Omoto C (2015b) Frequency of resistance to Vip3Aa20 toxin from *Bacillus thuringiensis* in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) populations in Brazil. **Crop Protection** 76:7-14.

Bernardi O, Bernardi D, Horikoshi RJ, Okuma DM, Miraldo LL, Fatoletto J, Medeiros FCL, Burd T, Omoto C (2016) Selection and characterization of resistance to the Vip3Aa20 protein from *Bacillus thuringiensis* in *Spodoptera frugiperda*. **Pest Management Science** 72(9):1794-802.

Bernardi O, Malvestiti GS, Dourado PM, Oliveira WS, Martinelli S, Berger GU, Head GP, Omoto (2012) Assessment of the high-dose concept and level of control provided

by MON 87701x MON 89788 soybean against *Anticarsia gemmatalis* and *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Pest Management Science** 68: 1083-1091.

Bezerra ARG (2015) Importância Econômica. In: Sedyama A, Silva T, Borém F(Ed.) **Soja: do plantio a colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV.

Boiça Júnior AL, Santos TM, Toledo MA (2006) Desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) em genótipos de milho. **Revista de Agricultura** 80: 148-158.

Boiça Júnior AL, Campos ZR, Campos AR, Valério Filho WV, Campos OR (2013) *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in cotton: vertical distribution of egg masses, effects of adult density and plant age on oviposition behavior. **Arquivos do Instituto Biológico** 80: 424-429.

Boiça Júnior A, Souza B, Lopes G, Costa E, Moraes R, Eduardo W (2013) Atualidades em resistência de plantas a insetos. In.: Busoli A, Alencar J, Fraga D, Souza L, Souza B, Grigolli J (Eds.) **Tópicos em Entomologia Agrícola - VI**. Jaboticabal: Multipress Ltda. p. 207-224.

Boiça Júnior AL, Freitas CA, Freitas MM, Nogueira L, Di Bello MM, Fonseca SS, Eduardo WI (2018) Estratégias de defesa de plantas a insetos. In.: Castilho RC, Truzi CC, Pinto CPG (Eds.) **Tópicos em Entomologia Agrícola - XI**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda. p. 71-93.

Boiça Júnior AL, Freitas MM, Freitas CA, Di Bello MM, Ulhoa LA, Pascutti TM, Souza BHS (2019) Respostas induzidas de defesa das plantas e implicações no manejo integrado de pragas. In.: Castilho RDC, Rezende GF, Nascimento J, Rossi GD (eds.) **Tópicos em Entomologia Agrícola - XII**. Jaboticabal, SP: Multipress, p. 137-160.

Boiça Júnior AL, Freitas MM, Nogueira L, Di Bello MM, Freitas CA, Barcelos PHS, Faria SCQdS (2017b) Resistência de plantas a insetos em culturas agrícolas. In.: Castilho RdC, Barilli DR, Truzi CC (eds.) **Tópicos em Entomologia Agrícola - X**. Jaboticabal, SP: Gráfica Multipress, p. 97-122.

Boiça Júnior AL, Souza BH, Costa EN, Paiva LB (2017a) Influence of fall armyworm previous experience with soybean genotypes on larval feeding behavior. **Arthropod Plant Interactions** 11:89-97.

Boiça Júnior AL, Souza BHS, Bottega DB, Rodrigues NEL, Costa EM, Ribeiro Z A (2012) Resistência de plantas e produtos naturais no controle de pragas em culturas agrícolas. In: Busoli AC, Grigolli JFJ, Souza LA, Kubota MM, Costa EM, Santos LAO, Netto JC, Viana MA.(Ed.). **Tópicos em entomologia agrícola - V**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda., 2012. p. 139- 158.

Boldt PE, Biever KD, Ignoffo CM (1975) Lepidopteran pests of soybeans: consumption of soybean foliage and pods and development Time. **Journal of Economic Entomology** 68(4): 480-482.

Bonett LP, Baumgartner MST, Klein AC, Silva L I (2007) Compostos nutricionais e fatores antinutricionais do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*). **Arquivos em Ciências da Saúde Unipar** 11: 235-246.

Bonfante P, Genre A (2008) Plants and arbuscular mycorrhizal fungi: An evolutionary-developmental perspective. **Trends in Plant Science** 13: 492–498.

Borém A, Miranda GV (2009) **Melhoramento de plantas**. Viçosa: UFV. 529p.

Borowicz VA (2009) Organic farm soil improves strawberry growth but does not diminish spittlebug damage. **Journal of Sustainable Agriculture** 33:177–188.

Bortolotto OC, Pomari-Fernandes A, Bueno RCOF, Bueno AF, Kruz YKS, Queiroz AP, Sanzovo A, Ferreira RB (2015) The use of soybean integrated pest management in Brazil: a review. **Agronomy Science and Biotechnology** 1:25–32.

Broadley M, Brown P, Cakmak I, Ma JF, Rengel Z (2012) Beneficial elements. In **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**, ed. P Marschner, pp. 249–269. London: Academic. 3rd ed.

Broughton WJ, Hernandez G, Blair M, Beebe S, Gepts P, Vanderleyden J (2003) Beans (*Phaseolus* spp.)—Model food legumes. **Plant Soil** 252:55–128.

Brundrett MC (2002) Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. **New Phytologist** 154:275-304.

Bueno AF, Carvalho GA, Santos AC, Sosa-Gómez DR, Silva DM (2017) Pesticide selectivity to natural enemies: challenges and constraints for research and field recommendation. **Ciência Rural** 47:6.

Bueno RCOF, Parra JRP Bueno AF (2012) *Trichogramma pretiosum* parasitism of *Pseudoplusia includens* and *Anticarsia gemmatalis* eggs at different temperatures. **Biological Control** 60: 154-162.

Bueno RCOF, Parra JRP, Bueno AF, Moscardi F, Oliveira JRG, Camillo MF (2007) Sem barreira. **Revista Cultivar** 93:12-15.

Bueno RCOF, Bueno ADF, Moscardi F, Parra JRP, Hoffmann-Campo CB (2011) Lepidopteran larva consumption of soybean foliage: basis for developing multiple-species economic thresholds for pest management decisions. **Pest Management Science** 67:170-174.

Burleigh JG (1972) Population dynamics and biotic controls of the soybean looper in Louisiana. **Environmental Entomology** 1: 290-294.

CAB International (2016) **Crop Protection Compendium**. Disponível em: <<http://www.cabicompendium.org/cpc/home.asp>> Acessado em: 02 set. 2021.

Cabrera JLD, Wendland A, Faria LC, Costa JGC, Peloso MJ, Pereira HS, Melo LC (2014) **Cultivares do grupo Carioca**. Brasília, DF: Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01\\_106\\_243200313236.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_106_243200313236.html)> Acessado em: 24 nov. 2021.

Campos-Soriano L, Garcia-Martinez J, San Segundo B (2011) The arbuscular mycorrhizal symbiosis promotes the systemic induction of regulatory defence-related genes in rice leaves and confers resistance to pathogen infection. **Molecular Plant Pathology** 13: 579–592.

Capinera J L (2008) Handbook of vegetable pests. San Diego, Academic Press, 2700p.

Cardoso IM, Kuyper TW (2006) Mycorrhizas and tropical soil fertility. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 116: 72–84.

Carrière Y, Crowder DW, Tabashnik B (2010). Evolutionary ecology of insect adaptation to Bt crops. **Evolutionary Applications** 3:561-573.

Carrière Y, Fabrick JA, Tabashnik B (2016) Can pyramids and seed mixtures delay resistance to Bt crops? **Trends in biotechnology** 34(4) 291- 302.

Casmuz AS, Zaia DG, Socias MG, De La Vega, M (2009) Evaluación del impacto del complejo de orugas defoliadoras en soja de diferentes grupos de madurez. In: Devani M, Ledesma F, Sanchez JR (eds) **El cultivo de la soja en el noroeste argentino Campaña 2008/2009**. EEAOC, Tucumán, p 207 (EEAOC. Publicación Especial, 38)

Cely MVT, De Oliveira AG, De Freitas VF, De Luca MB, Barazetti R., Dos Santos IMO, Gionco B, Garcia G, Prete CEC, Andrade G (2016) Inoculant of arbuscular mycorrhizal fungi (*Rhizophagus clarus*) increase yield of soybean and cotton under field conditions. **Frontiers in Microbiology**. 7: 720.

Chaim SG (2011) **Genótipos de feijoeiro comum, grupo carioca, na época das águas, em Uberlândia-MG**. 25 f. Monografia (Graduação)- Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia.

Chaudhary G, Singh SK (2019) Global Status of Genetically Modified Crops and Its Commercialization. In.: Khoobchandani M, Saxena A (Eds.) **Biotechnology Products in Everyday Life**. Cham: Springer International Publishing. p. 147-160.

Chen D, Wang S, Yin L, Deng X (2018) How does silicon mediate plant water uptake and loss under water deficiency? **Frontiers in Plant Science** 9:281.

Chen W, Yao X, Cai K, Chen J (2011) Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. **Biological Trace Element Research** 142: 67–76.

Chocorosqui VR, Panizzi AR (2004) Impact of cultivation systems on *Dichelops melacanthus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) populations and damage and its chemical control on wheat. **Neotropical Entomology** 33: 487-492.

Cofré MN, Ferrari AE, Becerra A, Dominguez L, Wall LG, Urcelay C (2017) Effects of cropping systems under no-till agriculture on arbuscular mycorrhizal fungi in Argentinean Pampas. **Soil Use and Management** 33: 364–378.

CONAB (2020) **Acompanhamento da safra Brasileira: grãos**. Brasília: CONAB 8: 77p. (CONAB. Documento, 1).

CONAB (2021) **Acompanhamento da safra Brasileira: grãos**. Brasília: CONAB, 86 p. (CONAB. Documento, 1).

Copetta A, Lingua G, Berta G (2006) Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. Var. Genovese. **Mycorrhiza** 16: 485–494.

Cruz IA (1995) lagarta-do-cartucho na cultura do milho. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS. 45 p. (Circular Técnica, 21)

Cruz IA, Valicente FH, Santos IP dos, Waquil JM, Viana PA (1997) Manual de identificação de pragas da cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. p71.

Cruz MFA, Rodrigues FA, Diniz AC, Alves Moreira M, Barros EG (2014). Soybean Resistance to *Phakopsora pachyrhizi* as Affected by Acibenzolar-S-Methyl, Jasmonic Acid and Silicon. **Journal of Phytopathology** 162(2): 133-136.

Currie A F, Murray PJ, Gange AC (2011) Is a specialist root-feeding insect affected by arbuscular mycorrhizal fungi? **Applied Soil Ecology** 47:77–83.

De Moraes CM, Lewis WJ, Paré PW, Alborn HT, Tumlinson JH (1998) Herbivore-Infested plants selectively attract parasitoids. **Nature** 393:570-573.

Debona D, Rodrigues FA, Datnoff LE (2017) Silicon's Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses. **The Annual Review of Phytopathology** 55:1-23.

Delfini J, Moda-Cirino V, Neto JS, Ruas PM, Sant'Ana GC, Gepts P, Gonçalves LSA (2021) Population structure, genetic diversity and genomic selection signatures among a Brazilian common bean germplasm. **Scientific Reports** 11:2964.

Depec, 2017 - Departamento de Pesquisa e Estudos Econômicos. Disponível em: <[https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset\\_feijao.pdf](https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_feijao.pdf)>. Acesso em: 27 fev. 2019.

Dias PAS, Sampaio MV, Rodrigues MP, Korndorfer AP, Oliveira RS (2014) Induction of resistance by silicon in wheat plants to alate and apterous morphs of *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae). **Environmental Entomology** 43: 949–95.

Duarte JO, Garcia JC, Miranda RA (2015) **Cultivo do milho: economia da produção**. Sistema de produção EMBRAPA Milho e Sorgo. Disponível em: <[www.spo.cnptia.embrapa.br](http://www.spo.cnptia.embrapa.br)>. Acessado em: 01 jul. 2021.

Embrapa (2009) **Ata da XXX Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 350 p. (Documentos, 310).

Embrapa (2016) **Cultivo do milho**. Disponível em: <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br>> Acessado em: 22 out. 2021

Embrapa (2020) **Tecnologias de Produção de Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 347 p. (Embrapa Soja. Documento, 17).

Epstein E (1994) The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA** 91: 11–17.

Epstein E (1999) Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** 50: 641–664.

Epstein E (2009) Silicon: its manifold roles in plants. **Annals of Applied Biology** 155: 155–160.

Fancelli AL, Neto DD (2007) **Produção de feijoeiro**. 2. ed. Piracicaba: Livroceres. 386 p.

Fancelli AL (2013) **Milho: estratégias de manejo**. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV.180 p.

Fancelli AL (2015) Manejo baseado na fenologia aumenta eficiência de insumos e produtividade. **Visão Agrícola** 13:24–29.

Fancelli AL, Dourado Neto D (2000) **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária. 360p.

FAO (2022) **Crops and livestock products**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>>. Acessado em: 01 mar. 2022.

FAOSTAT (2017) **Crops**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Acessado em: 08 mai. 2021.

Farias JRB, Nepomuceno AL, Norman N (2007) **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 9 p. (Embrapa Soja. Documento, 48).

Farias JR, Andow DA, Horikoshi RJ, Sorgatto RJ, Fresia P, Santos AC, Omoto C (2014) Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Crop Protection** 64: 150-158.

Farooq MA, Detterbeck A, Clemens S, Dietz K J (2016) Silicon induced reversibility of cadmium toxicity in rice. **Journal of Experimental Botany** 67: 3573–3585.

Fehr WR, Caviness CE (1977) **Stages of soybean development**. Iowa: State University of Science and Technology, 11 p. (State University of Science and Technology. Documento, 80).

Figueiredo CS, Lemes ARN, Sebastião I, Desidério JA (2019) Synergism of the *Bacillus thuringiensis* Cry1, Cry2, and Vip3 proteins in *Spodoptera frugiperda* control. **Applied Biochemistry and Biotechnology** 188 (3): 798-809.

Fornasieri Filho D (2007) **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep. 574 p.

Gange AC, West HM (1994) Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and foliar-feeding insects in plantago-lanceolata L. **New Phytologist** 128: 79–87.

Gange AC (2001) Species-specific responses of a root- and shoot-feeding insect to arbuscular mycorrhizal colonization of its host plant. **New Phytologist** 150:611–618.

Gange AC, Stagg PG, Ward LK (2002) Arbuscular mycorrhizal fungi affect phytophagous insect specialism. **Ecology Letters** 5:11– 15.

Gange AC, Brown VK, Aplin DM (2003) Multitrophic links between arbuscular mycorrhizal fungi and insect parasitoids. **Ecology Letters** 6: 1051–1055.

Gange AC (2007) Insect-mycorrhizal interactions: patterns, processes and consequences. In: Oghushi T, Craig TP, Price PW, eds. **Ecological communities: plant mediation in indirect interactions**. Cambridge: Cambridge University Press 124–144.

Gao CM, Wang MY, Mi Y, Wan FH, Liu RJ (2014) Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and herbivorous insects. **Acta Ecologica Sinica** 13:3481–3489.

García-Díaz M, Gil-Serna J, Vázquez C, Botia MN, Patiño B (2020) A Comprehensive Study on the Occurrence of Mycotoxins and Their Producing Fungi during the Maize Production Cycle in Spain. **Microorganisms** 8: 141-156.

Gehring C, Bennett A (2009) Mycorrhizal fungal-plant-insect interactions: The importance of a community approach. **Environmental Entomology** 38:93–102.

Geiger F, Bengtsson J, Berendse F, Weisser WW, Emmerson M, Morales MB, Ceryngier P, Liira J, Tscharntkei T, Winqvist C, Eggers S, Bommarco R, Pařrt T, Bretagnolle V, Plantegenest M, Clement LW, Dennis C, Palmer C, Oñate JJ, Guerrero I, Hawro V, Aavik T, Thies C, Flohre A, Hanke S, Fischer C, Goedhart PW, Inchausti P (2010) Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. **Basic and Applied Ecology** 11: 97–105.

Gómez I, Ocelotl J, Sanchez J, Aguilar-Medel S (2020) *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab domain III  $\beta$ -22 mutants with enhanced toxicity to *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (2020) **Applied and Environmental Microbiology** 86 (22).

Gomes P (1986) **A soja**. São Paulo: Nobel. 152p.

Gomes FB, Moraes JC, Santos CD, Goussain MM (2005) Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola** 62(6): 547-551.

Gosling P, Jones J, Bending GD (2016). Evidence for functional redundancy in arbuscular mycorrhizal fungi and implications for agroecosystem management. **Mycorrhiza** 26:77–83.

Goverde M, Van der Heijden MGA, Wiemken A, Sanders IR, Erhardt A (2000) Arbuscular mycorrhizal fungi influence life history traits of a lepidopteran herbivore. **Oecologia** 125:362–369.

Grümborg B, Urcelay C, Shroeder MA, Vargas-Gil S, Luna CM (2015). The role of inoculum identity in drought stress mitigation by arbuscular mycorrhizal fungi in soybean. **Biology and Fertility of Soils** 51:1–10.

Guerrieri E, Lingua G, Digilio MC, Massa N, Berta G (2004) Do interactions between plant roots and the rhizosphere affect parasitoid behaviour? **Ecological Entomology** 29: 753–756.

Gutiérrez-Moreno R, Mota-Sanchez D, Blanco CA, Whalon ME, Terán Santofimio H, Rodríguez-Maciel JC, Di Fonzo C (2019) Field-Evolved Resistance of the Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to Synthetic Insecticides in Puerto Rico and Mexico. **Journal of Economic Entomology** 112: 792-802.

Gutjahr C, Parniske M (2013) Cell and developmental biology of arbuscular mycorrhiza symbiosis. **Annual Review of Cell and Developmental Biology** 29: 593–617.

Hajiboland R, Bahrami-Rad S, Bastani S (2013) Phenolics Metabolism in Boron Deficient Tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze). **Plants** 64: 196–206.

Han Y, Lei W, Wen L, Hou M (2015) Silicon-mediated resistance in a susceptible rice variety to the rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae). **PLoS ONE** 10(4).

Harrison MJ (2005) Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Annual Review of Microbiology** 59: 19–42.

He WQ, Yang M, Li ZH, Qiu JL, Liu F, Qu XS (2015) High levels of silicon provided as nutrient in hydroponic culture enhances rice plant resistance to brown planthopper. **Crop Protection** 67:20–25.

He L, Li C, Liu R (2017) Indirect interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and *Spodoptera exigua* alter photosynthesis and plant endogenous hormones. **Mycorrhiza**. 27: 525–535.

Herzog DC (1980) Sampling soybean looper on soybean. In: Kogan M, Herzog DC. (ed.). **Sampling methods in soybean entomology**. New York: Springer-Verlag. p. 140-168.

Higo M, Sato R, Serizawa A, Takahashi Y, Gunji K, Tatewaki Y, Isobe K (2018) Can phosphorus application and cover cropping alter arbuscular mycorrhizal fungal communities and soybean performance after a five-year phosphorus-unfertilized crop rotational system? **PeerJ** 6(7).

Higo M, Tatewaki Y, Gunji K, Kaseda A, Isobe K (2019). Cover cropping can be a stronger determinant than host crop identity for arbuscular mycorrhizal fungal communities colonizing maize and soybean. **PeerJ** 1-24.

Hijri I, Sykorova Z, Oehl F, Ineichen, Mäde P, Wiemken A, Redecker D (2006) Communities of arbuscular mycorrhizal fungi in arable soils are not necessarily low in diversity. **Molecular Ecology** 15: 2277–2289.

Hoffmann-Campo CB, Corrêa-Ferreira BS, Moscardi F (2012) **Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes praga**. Brasília: Embrapa. p. 859.

Hohnjec N, Vieweg MF, Puhler A, Becker A, Kuster H (2005) Overlaps in the transcriptional profiles of *Medicago truncatula* roots inoculated with two different glomus fungi provide insights into the genetic program activated during arbuscular mycorrhiza. **Plant Physiology** 137: 1283–1301.

Hoffmann LV, Lucena VS (2006) **Para entender Micorrizas Arbusculares**. Embrapa Algodão. Documento 156:1:22.

Holz S, Kube, Bartoszewsk G, Büttne C (2015) The impact of Silicon on Transcripts Related to Cucumber Mosaic Virus Infection in Cucumber. **Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences** 80: 411–420.

Hou M, Han Y (2010) Silicon-mediated rice plant resistance to the asiatic rice borer (Lepidoptera: Crambidae): Effects of silicon amendment and rice varietal resistance. **Journal of Economic Entomology** 103: 1412–1419.

Huang F, Qureshi JA, Meagher Jr RL, Reising DD, Head P, Andow DA, Ni X, Kerns D, Buntin GD, Niu Y, Yan F, Dungal (2014) Cry1F resistance in fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: single gene versus pyramided Bt maize. **PLoS One** 9, e112958.

Hunt TE, Baldin ELL (2012) **Soybean insects: ecology and control**. Taylor and Francis, New York, pp 1–4.

Jansa J, Oberholzer HR, Egli S (2009) Environmental determinants of the arbuscular mycorrhizal fungal infectivity of Swiss agricultural soils. **European Journal of Soil Biology** 45: 400–408.

Jensen RL, Newsom LD, Gibbens J (1974) The soybean looper: effects of adult nutrition on oviposition, mating frequency, and longevity. **Journal of Economic Entomology** 67:467-470.

Jiang N, Fan X, Lin W, Wang G, Cai K (2019) Transcriptome analysis reveals new insights into the bacterial wilt resistance mechanism mediated by silicon in tomato. **International Journal of Molecular Sciences** 20(3): 761

Johnson NC, Graham J H, Smith FA (1997). Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism–parasitism continuum. **New Phytologist**. 135:575–585.

Johnson NC (1993) Can fertilization of soil select less mutualistic mycorrhizae? **Ecological Applications** 3(4):749–757.

Jung SC, Martinez-Medina A, Lopez-Raez JA, Pozo MJ (2012) Mycorrhiza-induced resistance and priming of plant defenses. **Journal of Chemical Ecology** 38: 651–664.

Kapoor R, Chaudhary V, Bhatnagar AK (2007) Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. **Mycorrhiza** 17: 581–587.

Kaur H, Greger M (2019) A review on si uptake and transport system. **Plants**.

Kefeli VI, Kalevitch MV, Borsari B (2007) Phenolic cycle in plants and environment. **Journal of Molecular Cell Biology** 2: 13-18.

Kessler A, Baldwin IT (2002) Plant responses to insect herbivory: the emerging molecular analysis. **Annual Review of Plant Biology** 53: 299–328.

Khaosaad T, Vierheilig H, Nell M, Zitterl-Eglseer K, Novak J. 2006. Arbuscular mycorrhiza alter the concentration of essential oils in oregano (*Origanum* sp., Lamiaceae). **Mycorrhiza** 6: 443–446.

Kidd KA, Orr DB (2001) Comparative feeding and development of *Pseudoplusia includes* (Lepidoptera: Noctuidae) on kudzu and soybean foliage. **Annals of the Entomological Society of America** 94:219-225.

Kiniry JR, Bonhomme R (1991) Predicting maize phenology. In: Hodges C (Ed.). **Predicting crop phenology**. Boca Raton: CRC Press, p.115-131, 1991.

King ABS, Saunders JL (1984) The invertebrate pests of annual food crops in Central America. London: Overseas Development Administration. 166 p.

Kogan M (1981) Dynamics of insect adaptations to soybean: Impact of integrated pest management. **Environmental Entomology** 10: 363-371.

Kogan M, Cope D (1974) Feeding and nutrition of insects associated with soybeans. 3. Food intake, utilization and growth in the soybean looper, *Pseudoplusia includens*. **Annals of the Entomologica Society of America** 67: 66-72.

Koricheva J, Gange AC, Jones T (2009) Effects of mycorrhizal fungi on insect herbivores: a meta-analysis. **Ecology** 90:2088–2097.

Kumudini S (2010) Soybean growth and development. In.: Singh G (ed.) **The soybean: botany, production and uses**. Oxfordshire: CABI. p. 48-73.

Kvedaras O L, An M, Choi Y, Gurr G (2010) Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defences. **Bulletin of Entomological Research** 100(3): 367-371.

Kvedaras OL, Keeping MG, Goebel FR, Byrne MJ (2007) Larval performance of the pyralid borer *Eldana saccharina* Walker and stalk damage in sugarcane: influence of plant silicon, cultivar and feeding site. **International Journal of Pest Management** 53:183-194.

Labrador JR (1967) Estudio de la biología y combate del gusano cogollero del maíz *Laphygma frugiperda*. S. & A. Maracaibo: Universidad del Zulia. 83 p.

Laird RA, Addicott JF. 2007. Arbuscular mycorrhizal fungi reduce the construction of extrafloral nectaries in *Vicia faba*. **Oecologia** 152: 541–551.

Lehman RM, Taheri WI, Osborne SL, Buyer JS, Douds DD (2012) Fall cover cropping can increase arbuscular mycorrhizae in soils supporting intensive agricultural production. **Applied Soil Ecology** 61:300–304.

Li Z (2018) Evaluation of regulatory variation and theoretical health risk for pesticide maximum residue limits in food. **Journal of Environmental Management** 219:153–167.

Liang Y, Miroslav N, Haijun G, Alin S (2015) Silicon and insect pest resistance. In: Yongchao L, Miroslav N, Richard B, Haijun G, Alin S. **Silicon in Agriculture** Eds Springer: Berlin, Germany; pp. 197–204.

Liu P, Yin L, Wang S, Zhang M, Deng X, Zhang S, Tanaka K (2015). Enhanced root hydraulic conductance by aquaporin regulation accounts for silicon alleviated salt-induced osmotic stress in *Sorghum bicolor* L. **Environmental and Experimental Botany** 111:42–51.

Lovato F, Kowaleski J, Silva S.Z, Heldt LFS (2018). Composição centesimal e conteúdo mineral de diferentes cultivares de feijão biofortificado (*Phaseolus vulgaris* L.). **Brazilian Journal of Food Technology** 21: 1-6

Luginbuehl LH, Menard GN, Kurup S, Erp HV, Radhakrishnan GV, Breakspear A, Oldroyd GED, Eastmond PJ (2017) Fatty acids in arbuscular mycorrhizal fungi are synthesized by the host plant. **Science** 356:1175–1178.

Luginbill PH (1928) The fall armyworm. Technical Bulletin United States Department of Agriculture 34: 1-91.

Ma JF, Takahashi E (2002) Functions of silicon in plant growth, Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan (1ed). **Elsevier**.

Ma JF (2004) Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition** 50: 11–18.

Ma JF, Yamaji N (2015) A cooperative system of silicon transport in plants. **Trends in Plant Science**. 20(7):435-442.

Marques LH, Castro BA, Rossetto J, Silva OABN, Moscardini VF, Zobiolo LHS, Santos AC, Valverde-Garcia P, Babcock JM, Rule DM, Fernandes AO (2016) Efficacy of soybean's event das-81419-2 expressing Cry1F and Cry1Ac to manage key tropical lepidopteran pests under field conditions in Brazil. **Journal of Economic Entomology** 109: 1922- 1928.

Marsaro Junior AL, Pereira PRVS, Silva WR, Griffel SCP (2010) Flutuação populacional de insetos-praga na cultura da soja no estado de Roraima. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais** 8:71-76.

Mason LJ, Mack TP (1984) Influence of temperature on oviposition and adult female longevity for the soybean looper, *Pseudoplusia includens* (Walker) (Lepidoptera Noctuidae). **Environmental Entomology** 13(2): 379-383.

Massey FP, Hartley SE (2009) Physical defences wear you down: Progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. **Journal Animal Ecology** 78:281–291.

Masuda T, Goldsmith PD (2009) World soybean production: area harvested, yield, and long-term projections. **International Food and Agribusiness Management Review** 12:1-20.

McGaughey WH, Whalon ME (1992) Managing insect resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins. **Science** 258:1451-1455.

Meena VD, Dotaniya ML, Coumar V, Rajendiran S, Ajay S, Kundu S, Rao AS (2014). A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B** 84:505 –518.

Meghvansi MK, Mahna SK (2009) Evaluating the symbiotic potential of *Glomus intraradices* and *Bradyrhizobium japonicum* in vertisol with two soybean cultivars. **American-Eurasian Journal of Agronomy** 2: 21–25.

Meghvansi MK, Prasad K, Harwani D, Mahna SK (2008) Response of soybean cultivars toward inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi and *Bradyrhizobium japonicum* in the alluvial soil. **European Journal of Soil Biology** 44: 316–323.

Melo LC, Pereira HS, Del Peloso MJ, Faria LC, Costa JGC, Wendland A, Cabrera JLD (2014) **Cultivares do grupo Preto**. Brasília, DF: Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01\\_28\\_96200312318.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_28_96200312318.html)>. Acessado em: 27 nov. 2021.

Millar NS, Bennett AE (2016) Stressed out symbiotes: hypotheses for the influence of abiotic stress on arbuscular mycorrhizal fungi. **Oecologia** 182:625–641.

Miraldo LL, Bernardi O, Horikoshi RJ, Amaral FSA, Bernardi D, Omoto C (2016) Functional dominance of different aged larvae of Bt-resistant *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic maize expressing Vip3Aa20 protein. **Crop Protection** 88:65-71.

Miranda JE (2006) Distribuição vertical de lagartas de *Spodoptera frugiperda* no algodoeiro. Campina Grande: EMBRAPA/CNPA. 4p. (Comunicado Técnico, 277).

Missão MR (2006) Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. **Maringá Management: Revista de Ciências Empresariais** 3:7-15.

Mitchel ER (1967) Life history of *Pseudoplusia includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of the Georgia Entomological Society** 2(2): 53-57.

Mitchell C, Brennan RM, Graham J, Karley AJ (2016) Plant defense against herbivorous pests: exploiting resistance and tolerance traits for sustainable crop protection. **Frontiers in Plant Science** 7: 1132.

Monnerat R, Martins E, Macedo C, Queiroz P, Praça L, Soares CM, Moreira H, Grisi I, Silva J, Soberon M, Bravo A (2015) Evidence of field-evolved resistance of *Spodoptera frugiperda* to Bt corn expressing Cry1F in Brazil that is still sensitive to modified Bt toxins. **Plos One** 10:1–12.

Moradtalab N, Hajiboland R, Aliasghar zad N, Hartmann TE, Neumann G (2019) Silicon and the Association with an Arbuscular-Mycorrhizal Fungus (*Rhizophagus clarus*) Mitigate the Adverse Effects of Drought Stress on Strawberry. **Agronomy** 9(1): 41-61.

Moraes MCB, Laumann RA, Sujii ER, Pires C, Borges M (2005) Induced volatiles in soybean and pigeon pea plants artificially infested with the neotropical brown stink bug, *Euschistus heros*, and their effect on the egg parasitoid, *Telenomus podisi*. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 115:227-237.

Moraes MCB, Pareja MF, Laumann RA, Hoffmann-Campo CB, Miguel B (2008) Response of the parasitoid *Telenomus podisi* to induced volatiles from soybean damaged by stink bug herbivory and oviposition. **Journal of Plant Interactions** 3:1742-1756.

Morando R, Baldin ELL, Cruz PL, Lourenção AL, Chiorato AF (2015) Antixenosis of bean genotypes to *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae). **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 50(6):450-458.

Moscardi F (2009) Problemática das populações de insetos em desequilíbrio e a retomada do Manejo Integrado de Pragas (MIP). In: Saraiva OF, Leite RMVBC, Castro C. **Ata da XXX reunião de pesquisa de soja da Região Central do Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 350 p. (Documento, 310).

Müller L (1981) Taxonomia e morfologia. In: Miyasaka SMJC. **A soja no Brasil**. Campinas: IAC. p. 73-104.

Nagoshi RN, Meagher RL (2004) Behavior and distribution of the two fall armyworm host strains in Florida. **Florida Entomologist** 87 (4): 440–449.

Nagoshi RN, Meagher RL (2008) Review of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) genetic complexity and migration. **Florida Entomologist** 91: 546-554.

Nagoshi RN, Silvie P, Meagher LR, Lopez J, Machado V (2007) Identification and Comparison of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) host strains in Brazil, Texas, and Florida. **Annals of the Entomological Society of America** 100 (3): 394-402.

Nagoshi RN, Koffi D, Agboka K, Tounou KA, Banerjee R, Jurat-Fuentes JL, Meagher RL (2017) Comparative molecular analyses of invasive fall armyworm in Togo reveal strong similarities to populations from the eastern United States and the Greater Antilles. **PLoS One** 1–15.

Nascimento AR, Farias JR, Bernardi D, Horikoshi RJ, Omoto C (2016) Genetic basis of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to the chitin synthesis inhibitor lufenuron. **Pest Management Science** 72: 810-815

Nascimento AM, Assis FA, Moraes JC, Souza BHS (2017) Silicon application promotes rice growth and negatively affects development of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). **Journal Applied Entomology** 1–9.

Nishida T, Katayama N, Izumi N, Takayuki O (2010) Arbuscular mycorrhizal fungi species-specifically affect induced plant responses to a spider mite. **Population Ecology** 52:507–515.

Nogales A, Aguirreolea J, Santa Maria E, Camprubí A, Calvet C (2009) Response of mycorrhizal grapevine to *Armillaria mellea* inoculation: disease development and polyamines. **Plant Soil** 317:177–187.

OECD/FAO (2017) **Agricultural Outlook 2017-2026**, OECD Publishing, Paris. Disponível em: <oecl-ilibrary.org>. Acessado em: 12 nov. 2021.

Oehl F, Laczko E, Bogenrieder A, Stahr K, Bösch R, van der Heijden M, Sieverding E (2010) Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. **Soil Biology and Biochemistry** 42(5):724–738.

Oehl F, Sieverding E, Ineichen K, Mäder P, Boller T, Wiemken A (2003) Impact of Land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. **Applied and Environmental Microbiology** 69(5):2816–2824.

Okumura RS, Mariano DC, Dallacort R, Zorzenoni TO, Zaccheo PVC, Oliveira Neto CF, Conceição HEO, Lobato AKS (2013) Agronomic efficiency of *Bacillus*

*thuringiensis* (Bt) maize hybrids in pest control on Lucas do Rio Verde city, State of Mato Grosso, Brazil. **African Journal of Agricultural Research** 8:2232-2239.

Omoto C, Bernardi O, Salmeron E, Sorgatto RJ, Dourado PM, Crivellari A, Carvalho RA, Willse A, Martinelli S, Head GP (2016) Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. **Pest Management Science** 72(9): 1727-1736.

Parisi C, Tillie P, Rodríguez-Cerezo E (2016) The global pipeline of GM crops out to 2020. **Nature Biotechnology** 34:31-36.

Parniske M (2008) Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbiosis. **Nature Reviews Microbiology** 6: 763-775.

Paye W, Tubana B, Harrell D, Babu T, Kanke Y, Datnoff L (2018) Determination of Critical Soil Silicon Levels for Rice Production in Louisiana Using Different Extraction Procedures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 49: 2091–2102.

Peixoto ML, Moraes JC, Silva AA, Assis FA (2011) Effect of silicon on the oviposition preference of *Bemisia tabaci* Biotype B (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) on bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. **Science and Agrotechnology** 35(3): 478-481.

Pineda A, Zheng SJ, Van Loon JJA, Pieterse CMJ, Dicke M (2010) Helping plants to deal with insects: the role of beneficial soil-borne microbes. **Trends in Plant Science**. 15:507–514.

Physorg (2018) Crop-destroying Armyworm caterpillar detected in Asia Disponível em: Acesso em 11 set. 2022

Poelman EH, Dicke M (2014) Plant-mediated interactions among insects within a community ecological perspective. **Annual Plant Reviews** 47:309-337.

Pogue G M (2002). A world revision of the genus *Spodoptera* Guenée (Lepidoptera: Noctuidae). **Memoirs of the American Entomological Society** 43: 1-202

Pozo MJ, Azcon-Aguilar C (2007) Unraveling mycorrhiza-induced resistance. **Current Opinion in Plant Biology** 10: 393–398.

Posse SCP, Riva-Souza EM, Silva GM, Fasolo LM, Silva MB, Rocha MAM (2010) Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região central-brasileira: 2009-2011. Vitória, ES: (INCAPER. Documentos, 191), 245 p.

Pozo MJ, López-Ráez JA, Azcón-Aguilar C, García-Garrido JM (2015) Phytohormones as integrators of environmental signals in the regulation of mycorrhizal symbioses. **New Phytologist** 205 (4):1431–1436.

Quintela ED (2009) Manejo Integrado de Pragas do Feijoeiro. In: Kluthcouski J, Stone LF, AIDAR H. (ed.) **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. p. 289-308.

Quintela ED, Barbosa FR (2015) **Manual de identificação de insetos e outros invertebrados pragas do feijoeiro**. 2a. Edição Atualizada. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 91 p. (Embrapa. Documento, 246).

Ranger CM, Singh AP, Frantz JM, Cañas L, Locke JC, Reding ME, Vorsa N (2009) Influence of silicon on resistance of *Zinnia elegans* to *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). **Environmental entomology** 38(1): 129-136.

Rapparini F, Llusia J, Penuelas J (2008) Effect of arbuscular mycorrhizal (AM) colonization on terpene emission and content of *Artemisia annua* L. **Plant Biology** 10: 108–122.

Reynolds OL, Gurr G, Padula M, Zeng R (2016) Silicon: potential to promote direct and indirect effects on plant defence against arthropod pests. **Frontiers in Plant Science** 7: 744.

Richmond KE, Sussman M (2003) Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. **Current Opinion in Plant Biology** 6:268–272.

Robert JW (1986) **The soybean solution: meeting world food needs**. Champaign: NIT-College of Agriculture, University of Illinois at Urbana, 4-27 p. (NIT-College of Agriculture, University of Illinois at Urbana. Documento, 1).

Roger A, Getaz M, Rasmann S, Sanders IR (2013) Identity and combinations of arbuscular mycorrhizal fungal isolates influence plant resistance and insect preference. **Ecological Entomology** 38: 330–338.

Rosegrant MW, Tokgoz S, Bhandary P (2012) The new normal? A tighter global agricultural supply and demand relation and its implications for food security. **American Journal of Agricultural Economics** 95: 303 – 309.

Rundlöf M, Andersson GKS, Bommarco R, Fries I, Hederström V, Herbertsson L, Jonsson O, Klatt BK, Pedersen TR, Yourstone J, Smith HG (2015). Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. **Nature** 521: 77–80.

Sá VGM, Fonseca BVC, Boregas KGB, Waquil JM (2009) Sobrevivência e desenvolvimento larval de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em hospedeiros alternativos. **Neotropical Entomology** 38: 108-115.

Santos SR, Specht A, Carneiro E, Paula-Moraes SV, Casagrande MM (2017) Interseasonal variation of *Chrysodeixis includens* (Walker, [1858]) (Lepidoptera:

Noctuidae) populations in the Brazilian Savanna. **Revista Brasileira de Entomologia** 61(4): 294-299.

Schausberger P, Peneder S, Jurschik S, Hoffmann D (2012) Mycorrhiza changes plant volatiles to attract spider mite enemies. **Functional Ecology** 26: 441–449.

Schlick-Souza EC, Baldin ELL, Morando R, Lourenção AL (2018) Antixenosis to *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) among soybean genotypes. **Bragantia** 77:124-133.

Schoenherr AP, Rizzo E, Jackson N, Manosalva P, Gomez SK (2019). Mycorrhiza-Induced Resistance in Potato Involves Priming of Defense Responses Against Cabbage Looper (Noctuidae: Lepidoptera). **Plant-Insect Interactions** 1-12.

Sediyama TPMG, Sediyama CS, Gomes JLL (1996) **Cultura da soja**. Viçosa: UFV. 96p.

Shrivastava G, Ownley BH, Auge RM (2015) Colonization by arbuscular mycorrhizal and endophytic fungi enhanced terpene production in tomato plants and their defense against an herbivorous insect. **Symbiosis** 65: 65–74.

Sikes BA, Maherali H, Klironomos JN (2014) Mycorrhizal fungal growth responds to soil characteristics, but not host plant identity, during a primary lacustrine dune succession. **Mycorrhiza** 24:219–226.

Silva DM, Freitas Bueno A, Santos Stecca C, Andrade K, Neves PMOJ, Oliveira MCN (2017) Biology of *Spodoptera eridania* and *Spodoptera cosmioides* (Lepidoptera: Noctuidae) on different host plants. **Florida Entomologist** 100:752-761.

Silva HT (2007) **Morfologia do Feijão**. Brasília, DF: Agência de Informação Embrapa – Feijão, 2007. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01\\_9\\_1311200215101.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_9_1311200215101.html)>. Acessado em: 12 nov. 2019.

Singh G (2010) **The soybean: botany, production and uses**. London: CABI. 494p.

Sisodiya DB, Raghunandan BL, Bhatt NA, Verma HS, Shewale CP, Timbadiya BG, Borad PK (2018) The fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae); first report of new invasive pest in maize fields of Gujarat. **India Journal of Entomology and Zoology Studies** 6:2089-2091.

Smilowitz Z (1973) Electrophoretic patterns in hemolymph protein of cabbage looper during development of the parasitoid *Hyposoter exiguae*. **Annals of the Entomological Society of America** 66:93-99.

Smith CM (2005) **Plant resistance to arthropods: molecular and conventional approaches**. Dordrecht: Springer, 421 pp.

Smith CM, Clement SL (2012) Molecular bases of plant resistance to arthropods. **Annual Review of Entomology** 57:309-328

Smith SE, Read DJ (2008) **Mycorrhizal symbiosis**. 3° ed (Academic Press) p.800.

Smith FA, Smith SE (2011) What is the Significance of the Arbuscular Mycorrhizal Colonization of Many Economically Important Crop Plants? **Plant Soil** 348:63–79.

Sosa-Gómez DR, Côrrea-Ferreira BS, Hoffmann-Campo CB, Corso IC, Oliveira LJ, Moscardi F, Panizzi AR, Bueno AF, Hirose E, Roggia S (2010) **Manual de identificação de insetos e outros invertebrados da cultura da soja**. Londrina: Embrapa-CNPSo. 90 p. (Documentos, 269).

Sosa-Gómez DR (2013) **Seletividade de agroquímicos para fungos entomopatogênicos**. Disponível em: <[http://cnpso.embrapa.br/download/artigos/seletiv\\_fung.pdf](http://cnpso.embrapa.br/download/artigos/seletiv_fung.pdf)>. Acessado em: 15 nov. 2020.

Souza PV, Machado BR, Zanuncio JC, Araújo MS, Alves GCS, Jesus FG (2016) Cultivation of resistant soybean varieties and application of silicon (Si) on biology of *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae). **Australian Journal of Crop Science** 10:1404-1409.

Sousa ACG, Souza BHS, Marchiori PER, Bôas LVV (2021) Characterization of priming, induced resistance, and tolerance to *Spodoptera frugiperda* by silicon fertilization in maize genotypes. **Journal of Pest Science** 95:1387–1400.

Spagnoletti FN, Leiva M, Chiocchio V, Lavado RS (2018) Phosphorus fertilization reduces the severity of charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) and the arbuscular mycorrhizal protection in soybean. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 1–6.

Sparks NA (1979) A review of the biology of the fall armyworm. **Florida Entomologist** 62: 82-87.

Sparks TC, Nauen R (2015) IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 121:122–128.

Specht A, Paula-Moraes SV, Sosa-Gómez DR (2015) Host plants of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera, Noctuidae, Plusiinae). **Revista Brasileira de Entomologia** 59: 343–345.

Stokstad E (2017) New crop pest takes Africa at lightning speed. **Science** 356:473–474.

Stout MJ (2013) Reevaluating the conceptual framework for applied research on host plant resistance. **Insect Science** 20: 263-272.

Strayer J, Greene GL (1974) **Soybean insect management**. (Florida Cooperation Extension Service Circular, 395).

Strazzi S (2015) Derivados do milho são usados em mais de 150 diferentes produtos industriais. **Revista Visão Agrícola–USP/ESALQ** 13:146-150.

Sugiyama A, Ueda Y, Takase H, Yazaki K (2015) Do soybeans select specific species of *Bradyrhizobium* during growth? **Communicative & Integrative Biology**.

Temple JH, Davis JA, Micinski S, Hardke JT, Price P, Leonard BR (2013) Species composition and seasonal abundance of stink bugs (Hemiptera: Pentatomidae) in Louisiana soybean. **Environmental Entomology**. 42: 648-657.

Tomczak VV, Schweiger R, Müller C (2016) Effects of arbuscular mycorrhiza on plant chemistry and the development and behavior of a generalist herbivore. **Journal of Chemical Ecology** 42:1247–1258.

Toonders TJ, Sánchez JLC (1987) Evaluación de la efectividad de *Trichogramma* spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) en el combate de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) recomendaciones para su uso. **Centro de Entomología y Acarología** 75-84.

Trisyono YA, Suputa S, Aryuwandari VEF, Hartaman M, Jumari J (2019) Occurrence of heavy infestation by the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, a new alien invasive pest, in corn in Lampung Indonesia. **Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia** 23 (1): 156-160.

Tudi M, Daniel Ruan H, Wang L, Lyu J, Sadler R, Connell D, Chu C, Phung DT (2021) Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 18: 1112-1135.

Turlings T, Erb M (2018) Tritrophic Interactions Mediated by Herbivore-Induced Plant Volatiles: Mechanisms, Ecological Relevance, and Application Potential. **Annual Review of Entomology** 63:433-452.

Turzi M (2017) **The political economy of agricultural boom: Managing Soybean Production on Argentina, Brazil and Paraguay**. Palgrave Macmillan. 154p.

Ukwungwu M (1990) Host plant resistance in rice to the african striped borer, *Chilo zacconius* Bles. (Lepidoptera: Pyralidae). **International Journal of Tropical Insect Science** 11(4-5): 639-647.

Ulhoa LA, Barrigossi JAF, Borges M, Laumann RA, Blassioli-Moraes MC (2020) 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** 168: 76–90.

USDA (2020) **World agricultural production**. Washington: Foreign Agricultural Service, 36 p. (Foreign Agricultural Service. Documento, WAP 8-19).

USDA (2021) **World agricultural production**. Washington: Foreign Agricultural Service, 36 p. (Foreign Agricultural Service. Documento, WAP 8-19).

Valicente FH (2015) **Manejo Integrado de Pragas na Cultura do Milho**. Sete Lagoas: Embrapa, 2015. 13p.

Vannette R L, Hunter MD (2011) Plant defence theory re-examined: nonlinear expectations based on the costs and benefits of resource mutualisms. **Journal of Ecology** 99:66–76.

Vázquez WC (1988) **Biologia comparada de *Pseudoplusia includens* (Walker, 1857) (Lepidoptera: Noctuidae) em dietas naturais e artificiais e efeito de um vírus de poliedrose nuclear na sua mortalidade e no consumo da área foliar da soja**. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) -Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Veljkovića VB, Biberdžić MO, Banković-Ilić IB, Djalović IG, Tasić MB, Nježić ZB, Stamenković OS (2018) Biodiesel production from corn oil: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 91: 531-548.

Veloso ES (2010) **Resistência de cultivares de soja a *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)**. 56f. Dissertação (Mestrado em agronomia – Área de Concentração: Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

Vendramim JD, Guzzo EC (2009) Resistência de plantas e a bioecologia e nutrição dos insetos. In: Panizzi AR, Parra JRP (Ed.). **Bioecologia e nutrição dos insetos: bases para o manejo integrado de pragas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. p. 1055-1105.

Viana PA, Potenza MR (2000) Avaliação de antibiose e não-preferência em cultivares selecionados com resistência à lagarta-do-cartucho. **Bragantia** 59: 27-33.

Villegas JM, Way MO, Pearson RA, Stout MJ. 2017. Integrating soil silicon amendment into management programs for insect pests of drill-seeded rice. **Plants** 6: 33-48.

Walker V, Couillerot O, Von Felten A (2012) Variation of secondary metabolite levels in maize seedling roots induced by inoculation with *Azospirillum*, *Pseudomonas* and *Glomus consortium* under field conditions. **Plant Soil** 356: 151–163.

Walsh OS, Shafian S, McClintick-Chess JR, Belmont KM, Blanscet SM (2018) Potential of silicon amendment for improved wheat production. **Plants** 7.

Wander AE (2004) **Cultivo do feijão irrigado na Região Noroeste de Minas Gerais**. Minas Gerais: Embrapa Arroz e Feijão.

Willis A, Rodrigues BF, Harris PJC (2013) The Ecology of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. **Critical Reviews in Plant Sciences** 32:1–20.

Xiao D, Che R, Liu X, Tan Y, Yang R, Zhang W, He X, Xu Z, Wang K (2019) Arbuscular mycorrhizal fungi abundance was sensitive to nitrogen addition but diversity was sensitive to phosphorus addition in karst ecosystems. **Biology and Fertility of Soils** 55: 457–469.

Yamawo A, Suzuki N (2018) Induction and relaxation of extrafloral nectaries in response to simulated herbivory in young *Mallotus japonicas* plants. **The Journal of Plant Research** 13:255-260.

Yang H, Zhang Q, Dai Y, Liu Q, Tang J, Bian X, Chen X (2015) Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth depend on root system: a meta-analysis. **Plant Soil** 389:361–374.

Yokoyama LP (2003) **Cultivo do feijoeiro comum importância econômica**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. (Sistemas de produção, 2). Disponível

em:<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/importancia.htm>>. Acessado em: 20 nov. 2013.

Yokoyama LP (2000) Sementes de feijão: produção, uso e comercialização. In: Vieira EHN, Rava CA (Ed.). **Sementes de feijão: produção e tecnologia**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, p.249-270.

Young SY, Yearian WC (1982) Nuclear polyhedrosis virus infection of *Pseudoplusia includens* (Lep.: Noctuidae) larvae effect on post larval stages and transmission. **Entomophaga** 27: 61-66.

Zhan L, Peng DL, Wang XL, Kong LA, Peng H, Liu SM, Liu Y, Huang WK (2018) Priming effect of root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to the rootknot nematode *Meloidogyne graminicola* in rice. **BMC Plant Biology** 18.

Zhang S, Lehmann A, Zheng W, You Z, Rillig MC (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi increase grain yields: a meta-analysis. **New Phytologist** 222:543-555.

Zubek S, Blaszkowski J, Stefanowicz AM, Majewska M (2016) Invasive plants affect arbuscular mycorrhizal fungi abundance and species richness as well as the performance of native plants grown in invaded soil. **Biology and Fertility of Soils** 52:879-893.

## **CAPÍTULO 2 - Resistência constitutiva em genótipos de feijão à *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae)**

**RESUMO** – O cultivo do feijoeiro possui grande importância socioeconômica no Brasil. Apesar de se destacar no “ranking” mundial de produção, a produtividade brasileira vem sendo afetada pela ocorrência da lagarta-falsa-medideira, *Chrysodeixis includens*. O controle desse inseto na cultura do feijão tem sido realizado principalmente através da aplicação de inseticidas químicos. Entretanto, o uso desse método vem causando impactos negativos para a saúde humana, o meio ambiente e os inimigos naturais. Além disso, vem contribuindo para o surgimento de populações de pragas resistentes. Por essas razões, a busca de outros métodos de controle para um Manejo Integrado de Pragas (MIP) é fundamental. O uso de genótipos resistentes a insetos-praga é uma estratégia promissora, pois as plantas possuem complexos mecanismos de defesa contra os herbívoros, os quais podem ser constitutivos (expressos independente de algum estresse) ou induzidos (expressos quando ocorre estresse). Plantas resistentes, podem reduzir a população das pragas, diminuir a aplicação de inseticidas químicos, abaixar os custos do produtor, diminuir resíduos nos alimentos e meio ambiente. Além disso, a utilização é simples e pode ser incorporado no MIP, conjuntamente com outros métodos de controle. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a expressão de possíveis fontes de resistência constitutiva de doze genótipos comerciais de feijoeiro à *C. includens* (IAC Polaco, IAC 1850, ANFC 9, DAMA, IAC Sintonia (Nova seleção), IAC Sintonia (Antiga seleção), IAC Imperador, BRS Sublime, Pérola, BRS FC 402, BRS Estilo e BRS MG Madre pérola). A preferência alimentar foi avaliada por testes com e sem chance de escolha, utilizando-se discos foliares e determinando-se a porcentagem de lagartas presentes nos discos foliares e a área foliar consumida. O desenvolvimento biológico foi avaliado por parâmetros de crescimento, como peso, período de desenvolvimento e sobrevivência. Analisando os dados, BRS MG Madrepérola (antixenose e antibiose), BRS Sublime (antixenose) e IAC 1850 (antibiose) foram resistentes. Em contraste, IAC Sintonia (Antiga seleção), IAC Sintonia (Nova seleção) e IAC Imperador foram suscetíveis. Os resultados deste trabalho são importantes para a seleção de novas fontes de resistência do feijão a *C. includens*, visto que existem poucos estudos de resistência do feijoeiro com essa praga. Investigações adicionais devem ser realizadas para identificar os mecanismos responsáveis pela resistência a *C. includens* para aumentar sua expressão ou incorporá-los no feijoeiro em programas de melhoramento genético. Além disso, avaliar a resistência e produtividade/produção no campo, para viabilizar o plantio em grande escala desses genótipos pelos produtores de feijão.

**Palavras-chave:** antibiose, antixenose, lagarta-falsa-medideira, *Phaseolus vulgaris*, resistência constitutiva, resistência de plantas a insetos

## CHAPTER 2 – Constitutive resistance of bean genotypes to *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae)

**ABSTRACT** – Bean cultivation has great socioeconomic importance in Brazil. Despite standing out in the world production ranking, Brazilian productivity has been affected by the occurrence of the caterpillar *Chrysodeixis includens*. The control of this insect in the bean crop has been carried out mainly through the application of chemical insecticides. However, the use of this method has had negative impacts on human health, the environment and natural enemies. In addition, it has contributed to the emergence of resistant pest populations. For these reasons, the search for other control methods for Integrated Pest Management is essential. The use of insect-pest resistant genotypes is a promising strategy, as plants have complex defense mechanisms against herbivores, which can be constitutive (expressed independently of some stress) or induced (expressed when stress occurs). Resistant plants can reduce the population of pests, reduce the application of chemical insecticides, lower producer costs, reduce residues in food and the environment. Furthermore, it is simple to use and can be incorporated into the MIP, together with other control methods. Therefore, the objective of this work was to evaluate the expression of possible sources of constitutive resistance of twelve commercial common bean genotypes to *C. includens* (IAC Polaco, IAC 1850, ANFC 9, DAMA, IAC Sintonia (Nova seleção), IAC Sintonia (Antiga seleção), IAC Imperador, BRS Sublime, Pérola, BRS FC 402, BRS Estilo and BRS MG Madre Pérola). Food preference was evaluated by free-choice and no-choice tests, using leaf discs and determining the percentage of caterpillars present on leaf discs and the leaf area consumed. Biological development was assessed by growth parameters such as weight, developmental period and survival. Analyzing the data, BRS MG Madrepérola (antixenosis and antibiosis), BRS Sublime (antixenosis) and IAC 1850 (antibiosis) were resistant. In contrast, IAC Sintonia (Antiga seleção), IAC Sintonia (Nova seleção) and IAC Imperador were susceptible. The results of this work are important for the selection of new sources of common bean resistance to *C. includens*, since there are few studies of common bean resistance to this pest. Additional investigations should be carried out to identify the mechanisms responsible for resistance to *C. includens* to increase their expression or to incorporate them into common bean in genetic improvement programs. In addition, to evaluate the resistance and productivity/production in the field, to enable the large-scale planting of these genotypes by bean producers.

**Keywords:** antibiosis, antixenosis, constitutive resistance, *Phaseolus vulgaris*, plant resistance to insects, The soybean looper

## 1. Introdução

O cultivo do feijão (*Phaseolus vulgaris*) (L.), possui grande importância socioeconômica no mundo e no Brasil. No “ranking” mundial, o Brasil é um dos maiores produtores (FAO, 2022). Considerando as três safras em 2020/21, a produção nacional de feijão foi de 2,88 milhões de toneladas em uma área de 2,92 milhões de hectares, com produtividade média de 984 kg/ha (CONAB, 2021). Esse grão é um alimento muito importante na dieta da população brasileira (DEPEC, 2017), representando também importante fonte de emprego e renda no campo.

Apesar de ser um dos maiores produtores do mundo de feijão, a produtividade brasileira vem sendo afetada negativamente pela presença de diversos insetos-praga, destacando-se a lagarta-falsa-medideira, *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae) (Quintela 2009; Baldin et al. 2014; Quintela e Barbosa 2015). Essa lagarta se alimenta do tecido vegetal, sendo que as nervuras centrais e laterais permanecem intactas, com isso as folhas apresentam um aspecto rendilhado (Herzog, 1980; Bueno et al., 2007). Somente uma lagarta pode consumir de 80 a 200 cm<sup>2</sup> de área foliar durante toda a fase larval (Bueno et al. 2011).

O método mais utilizado para seu controle no campo é a aplicação de inseticidas químicos. No entanto, essa praga está adquirindo resistência aos inseticidas e o hábito de se abrigarem abaixo das folhas nos terços médio ou inferior dificulta o contato com os produtos (Bernardi et al., 2012; Baldin et al., 2014; Specht et al., 2015). Além disso, existem vários problemas derivados do uso de inseticidas químicos, principalmente os relacionados à saúde humana (Li, 2018), ao impacto ambiental (Tudi et al., 2021) e aos inimigos naturais (predadores, parasitoides e fungos entomopatogênicos) (Geiger et al., 2010; Pereira et al., 2018), que atuam como agentes de controle biológico no campo (Bueno et al., 2017).

O uso de genótipos resistentes pode ser uma alternativa ao controle químico, pois as plantas possuem complexos e sofisticados mecanismos de defesa contra os herbívoros (Smith e Clement, 2012; Mitchell et al., 2016; Boiça Júnior et al., 2017a, b). Plantas resistentes a insetos apresentam diversas vantagens, entre elas reduzir as populações das pragas, sem causar sérios desequilíbrios nos agroecossistemas. Diminui a aplicação de inseticidas químicos e conseqüentemente abaixa os custos de

produção, não acumula resíduos tóxicos nos alimentos e no meio ambiente. Além disso, a utilização de variedades resistentes é simples (não precisa de muito conhecimento do agricultor) e não interfere na colheita, sem período de carência que é característico dos inseticidas. O uso de resistência de plantas a insetos pode ser incorporado no manejo integrado de pragas, conjuntamente com outras estratégias de controle.

Apesar de muitas vantagens, é importante entender que uma variedade resistente a inseto-praga pode não ser altamente produtiva e não ter resistência a todas as pragas, a fitopatógenos ou estresses abióticos, por isso é importante avaliar outros parâmetros como produtividade e resistência a outros elementos estressores. No desenvolvimento de uma cultivar, o melhoramento para transferir as características genéticas de resistência (cruzamentos) é um processo que demanda tempo. Além disso, em uma lavoura com monocultivo (apenas um genótipo) pode causar desequilíbrio ecológico nos agroecossistemas, influenciando não só as pragas, mas também os inimigos naturais (Smith, 2005; Vendramim e Guzzo, 2009; Boiça Júnior et al., 2013; Mitchell et al., 2016; Baldin et al., 2019).

As plantas ao longo do processo coevolutivo desenvolveram diferentes mecanismos de defesa contra insetos herbívoros, os quais podem ser constitutivos ou induzidos. Mecanismos constitutivos são aqueles que são continuamente expressos e independes de algum estresse biótico (injúria de insetos) ou abiótico (déficit hídrico). Enquanto, os mecanismos induzidos são expressos somente quando ocorre algum estresse. Em ambos os mecanismos de defesa a ação sobre o agente agressor pode ser direta ou indireta (Boiça Júnior et al., 2019).

A defesa direta pode ser de natureza física ou química (Kessler e Baldwin 2002). Na defesa física as plantas podem utilizar suas características morfológicas para causar efeitos negativos sobre o inseto agressor, impedindo ou evitando sua atuação na planta (Baldin et al., 2018; Baldin et al., 2019). Na defesa química direta, as plantas produzem compostos voláteis e/ou não voláteis que podem repelir ou afetar o desenvolvimento dos insetos herbívoros, pela toxicidade ou reduzindo a digestibilidade dos tecidos vegetais (Poelman e Dicke, 2014; Ulhoa et al., 2020). As defesas indiretas agem principalmente atraindo os inimigos naturais (parasitoides e/ou predadores) desses herbívoros, com as plantas normalmente produzindo compostos

voláteis que são sinais que ajudam os inimigos naturais a localizarem seus hospedeiros ou presas (Turlings e Erb, 2018; Magalhães et al., 2019; Ulhoa et al., 2020).

A resistência de plantas a insetos é classificada em três tipos: antixenose, antibiose e tolerância (Smith, 2005; Stout, 2013). A antixenose é quando a planta evita o inseto para alimentação, abrigo e oviposição, geralmente é causado por características físicas da planta ou por compostos voláteis liberados por ela (Baldin et al., 2018; Baldin et al., 2019; Ulhoa et al., 2020). A resistência do tipo antibiose afeta negativamente a biologia dos insetos devido as características da planta que atuam após a ingestão pelo inseto, diminuindo o potencial reprodutivo, devido a fatores como: mortalidade elevada da fase imatura, baixa emergência de adultos, redução no tamanho e peso dos indivíduos, além de alterações na longevidade, oviposição, mortalidade, fecundidade e alongamento de ciclo. As causas da antibiose estão relacionadas principalmente à presença de compostos químicos das plantas. A tolerância ocorre quando um genótipo é menos danificado que os demais em condições iguais de infestação pelos herbívoros, sem que haja efeito no comportamento ou na biologia desses. 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 (Boiça Júnior et al., 2012; Baldin et al., 2018; Boiça Júnior et al., 2018; Baldin et al., 2019). Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi verificar possíveis fontes de resistência constitutiva de doze genótipos comerciais de feijoeiro à *C. includens* através de testes de preferência alimentar e antibiose.

## **2. Material e métodos**

### **2.1. Condições experimentais**

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação e no Laboratório de Resistência de Plantas a Insetos da Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV), Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Todos os ensaios em laboratório foram conduzidos em sala climatizada com temperatura de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , umidade relativa de  $70 \pm 10\%$ , e fotoperíodo de 12L: 12E.

## 2.2. Plantas

Foram avaliados os genótipos comerciais de feijão IAC Polaco, IAC 1850, ANFC 9, DAMA, IAC Sintonia (Nova seleção), IAC Sintonia (Antiga seleção), IAC Imperador, BRS Sublime, Pérola, BRS FC 402, BRS Estilo e BRS MG Madre pérola, em relação a possibilidade de ocorrência de fontes de resistência constitutiva. Esses materiais foram escolhidos pois são comercializados no Brasil e fazem parte do banco de germoplasma ativo do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Além disso, não possuem trabalhos na literatura buscando fontes de resistência desses genótipos a *C. includens*, exceto os genótipos Pérola (Morando et al., 2015, 2017) e ANFC 9 (Pastório, 2020).

As plantas de feijão foram cultivadas em vasos de polietileno de 5 L de volume contendo solo (Latossolo Vermelho Distrófico), areia e esterco bovino curtido, na proporção de 3:1:1. Os vasos com as plantas de feijão foram mantidos em casa de vegetação vedada com tela antiofídica até sua utilização nos ensaios, para evitar contato com pragas. A irrigação das plantas foi realizada a cada 2 dias de forma manual usando uma mangueira.

## 2.3. Insetos

Os insetos utilizados nos experimentos foram provenientes de uma criação mantida no Laboratório de Resistência de Plantas a Insetos da UNESP/FCAV, Jaboticabal, SP. Esta criação de *C. includens* foi iniciada a partir de ovos provenientes de uma linhagem mantida em dieta artificial (Greene et al., 1976) do Laboratório de Biologia de Insetos da Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (USP/ESALQ), Piracicaba, São Paulo, Brasil.

Os insetos foram mantidos e criados em sala climatizada com temperatura de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , umidade relativa de  $70 \pm 10\%$  e fotoperíodo de 12L: 12E. As lagartas de terceiro instar foram individualizadas em recipientes plásticos com 4,5 cm de diâmetro e 5 cm de altura (Potes Copaza<sup>®</sup>), contendo dieta artificial ao fundo (Greene et al., 1976).

Quando os insetos atingiram o estágio de pupa, foram transferidos para caixas do tipo gerbox (comprimento de 11 cm, largura de 11 cm e altura de 3,5 cm) forradas

com papel filtro ao fundo até a emergência dos adultos. Após a emergência dos adultos, casais de *C. includens* foram transferidos para gaiolas confeccionadas a partir de um tubo de PVC com dimensões de 19,5 cm de diâmetro e 19,5 cm de altura, coberta por tecido “voile” e revestida internamente com papel sulfite como substrato de oviposição. No fundo da gaiola foi colocado um prato plástico de 22 cm de diâmetro revestido com papel sulfite. Para a alimentação dos adultos utilizou-se uma solução de mel a 10% embebida em um pedaço de algodão acondicionado dentro frascos de vidro de 4,5 cm de diâmetro por 4,0 cm de altura. As gaiolas foram colocadas em estantes.

Após a oviposição, os ovos contidos no tecido “voile” e papel sulfite foram retirados e transferidos para recipientes plásticos de 12 cm de diâmetro e 15 cm de altura (Potes Copaza<sup>®</sup>) contendo dieta artificial (Greene et al., 1976) ao fundo para a permanência das lagartas recém-eclodidas. Após atingir o terceiro ínstar, as lagartas foram transferidas e individualizadas com o auxílio de um pincel fino umedecido para potes plásticos de 100 mL (4,5 cm de diâmetro e 5 cm de altura) contendo a mesma dieta artificial, como previamente descrito.

#### **2.4. Preferência alimentar de *Chrysodeixis includens***

Os Trifólios (folha trifoliada) provenientes dos genótipos avaliados foram coletados no terço médio de plantas com 25 dias cultivadas em casa de vegetação. Após coleta, folíolos foram levados ao laboratório e enxaguados em água corrente, e em seguida secos em papel toalha à temperatura ambiente. Para a avaliação da preferência alimentar de *C. includens*, foram usados discos foliares com diâmetro de 3,0 cm.

No teste com chance de escolha, os discos foliares das cultivares foram distribuídos em arenas confeccionadas com bandejas circulares de alumínio de 35 cm de diâmetro forradas com papel filtro umedecido com água. Duas lagartas de terceiro ínstar de *C. includens* por cultivar (tratamento) foram liberadas no centro da arena (24 lagartas no total) com auxílio de um pincel fino. A atratividade das lagartas foi observada após 5, 15, 30 minutos, 1, 3, 6, 12 horas do início do experimento, contabilizando a quantidade de lagartas em contato com o disco foliar nesses períodos. Após 24 horas ou quando cerca de 75% da área foliar de um dos

tratamentos foi consumida, a porcentagem de injúria foi determinada por imagens capturadas a partir de um scanner (HP, modelo D110a Photosmart Multifuncional Wireless) e analisadas pelo software ImageJ (versão 1.51). O delineamento foi em blocos ao acaso com 10 repetições, sendo cada repetição representada por uma arena contendo todos os tratamentos.

No teste sem chance de escolha, discos foliares de cada cultivar foram individualizados em placas de Petri de 9 cm de diâmetro forrada com papel filtro umedecido com água deionizada. Em seguida, duas lagartas de terceiro ínstar foram liberadas em cada placa. As avaliações de atratividade e área foliar consumida foram semelhantes às realizadas no teste com chance de escolha. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com 10 repetições, sendo cada unidade experimental constituída por uma placa de Petri.

## 2.5. Antibiose

Trifólios (folha trifoliada) dos genótipos foram coletados no terço médio de plantas com 25 dias cultivadas em casa de vegetação. Após coleta, os folíolos foram levados ao laboratório, e imersos em solução de hipoclorito de sódio a 0,05% por dois minutos, enxaguadas em água corrente, e em seguida secas em papel toalha à temperatura ambiente.

Os folíolos foram individualizados em potes de polietileno com dimensões de 6 cm de diâmetro e 5 cm de altura contendo papel filtro umedecido com água. Em seguida, uma lagarta recém-eclodida (menos de 24 horas) de *C. includens* foi liberada em cada pote, contendo folhas dos respectivos tratamentos. As folhas foram oferecidas à vontade durante todo o período larval de *C. includens*. A retirada dos excrementos das lagartas do interior dos potes foi feita sempre que necessário, a umidificação ou troca do papel filtro também. Lagartas com 10 dias e Pupas com 24 horas foram pesadas em uma balança analítica de precisão 0,0001 g (Modelo Adventurer AR2140, 2013, Ohaus®, Florham, Park, NJ, EUA).

Quando os insetos atingiram a fase de pupa os potes foram limpos e o oferecimento do alimento foi interrompido. Os seguintes parâmetros biológicos foram avaliados nesse ensaio: período e viabilidade larval, pupal e de larva-adulto, razão

sexual, pesos de lagartas com 10 dias de idade e pupas com 24 horas; deformação de pupas e adultos e longevidade dos adultos sem alimento.

## 2.6. Análise de dados

Os dados de área foliar consumida (preferência alimentar) e antibiose foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias, pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene, respectivamente. Em seguida foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e Teste F. Quando significativo, as médias da preferência alimentar e as médias de antibiose (12 tratamentos e 50 repetições) foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) através do software estatístico SAS® versão 9.4.

Nos testes de preferência alimentar com chance de escolha o delineamento foi em blocos ao acaso com 10 repetições, sendo cada repetição representada por uma arena contendo todos os tratamentos. Nos testes de preferência alimentar sem chance de escolha, o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com 10 repetições, sendo cada unidade experimental constituída por uma placa de Petri.

Os índices de atratividade (IA) foram calculados pela fórmula:  $IP = 2C/(C+S)$  (Kogan e Goeden, 1970), onde S = número de lagartas presentes no genótipo determinado como padrão de suscetibilidade (Pérola); C = número de lagartas presentes no genótipo a ser avaliado. O genótipo Pérola, foi escolhido como padrão de suscetibilidade a *C. includens*, pois é um material comercial suscetível a desfolhadores (Morando et al. 2015). Para os cálculos, foi observada após 5, 15, 30 minutos, 1, 3, 6, 12 horas do início do experimento, a média de lagartas presentes em cada genótipo. Foi utilizado o programa Microsoft Power Point para fazer os gráficos.

## 3. Resultados

### 3.1. Preferência alimentar de *Chrysodeixis includens*

Os resultados demonstraram no teste com chance de escolha, que o número médio de lagartas de *C. includens* atraídas pelos genótipos de feijão diferiu aos 15

minutos ( $F = 2,92$ ;  $df = 9$ ;  $p = 0,0022$ ) e aos 30 minutos ( $F = 1,82$ ;  $df = 9$ ;  $p = 0,0597$ ) após o início do teste. O menor número médio de lagartas nesses períodos foi observado nos genótipos BRS MG Madrepérola, BRS Sublime e IAC Polaco (Tabela 1). Esses genótipos foram considerados deterrentes de acordo com o índice de atratividade, e o restante dos genótipos foram classificados como estimulantes (Figura 1). No genótipo IAC Sintonia (Antiga seleção) foi observado o maior número de lagartas atraídas (Tabela 1), sendo considerado o genótipo mais estimulante no teste com chance de escolha (Figura 1). Não houve diferença estatística de desfolha das lagartas entre os tratamentos. Porém, os discos foliares dos genótipos BRS MG Madrepérola, BRS Sublime e IAC Polaco classificados como deterrentes, foram menos consumidos. Os genótipos IAC Sintonia (Antiga seleção) e IAC Imperador foram mais consumidos pelas lagartas (Tabela 1; Figura 2).

Tabela 1. Número médio ( $\pm$  EP) de lagartas de *Chrysodeixis includens* em discos de folhas de feijão e área foliar consumida ( $\text{cm}^2$ ) no teste com chance de escolha de diferentes génotipos de feijão.

Genótipos	Minutos			Área foliar consumida
	5	15	30	
IAC Polaco	0,60 $\pm$ 0,22 a	0,60 $\pm$ 0,22 bc	1,00 $\pm$ 0,26 ab	1,75 $\pm$ 0,32 a
IAC 1850	1,20 $\pm$ 0,29 a	1,70 $\pm$ 0,33 ab	1,40 $\pm$ 0,37 ab	1,79 $\pm$ 0,35 a
ANFC 9	1,10 $\pm$ 0,43 a	1,40 $\pm$ 0,34 abc	1,30 $\pm$ 0,33 ab	1,81 $\pm$ 0,27 a
DAMA	1,00 $\pm$ 0,39 a	1,10 $\pm$ 0,35 abc	1,00 $\pm$ 0,39 ab	2,12 $\pm$ 0,45 a
IAC Sintonia (Nova)	1,40 $\pm$ 0,30 a	1,50 $\pm$ 0,27abc	1,70 $\pm$ 0,30 ab	2,17 $\pm$ 0,43 a
IAC Sintonia (Antiga)	1,40 $\pm$ 0,40 a	2,20 $\pm$ 0,44 a	2,20 $\pm$ 0,39 a	2,95 $\pm$ 0,51 a
IAC Imperador	1,30 $\pm$ 0,42 a	1,60 $\pm$ 0,34 abc	1,50 $\pm$ 0,37 ab	2,87 $\pm$ 0,52 a
BRS Sublime	0,80 $\pm$ 0,29 a	1,00 $\pm$ 0,33 abc	0,80 $\pm$ 0,33 ab	1,35 $\pm$ 0,32 a
Pérola	0,60 $\pm$ 0,27 a	0,90 $\pm$ 0,28 abc	1,10 $\pm$ 0,28 ab	2,10 $\pm$ 0,57 a
BRS FC 402	1,20 $\pm$ 0,47 a	1,50 $\pm$ 0,34 abc	1,50 $\pm$ 0,34 ab	2,61 $\pm$ 0,41 a
BRS Estilo	0,80 $\pm$ 0,20 a	1,30 $\pm$ 0,26 abc	1,80 $\pm$ 0,42 ab	2,00 $\pm$ 0,33 a
BRS MG Madrepérola	0,20 $\pm$ 0,13 a	0,20 $\pm$ 0,13 c	0,60 $\pm$ 0,16 b	1,42 $\pm$ 0,22 a
F	1,16	2,92	1,82	1,66
<i>p</i>	0,322 <sup>ns</sup>	0,0022	0,0597	0,0948 <sup>ns</sup>

Genótipos	Horas			
	1	3	6	12
IAC Polaco	1,00 $\pm$ 0,26 a	1,30 $\pm$ 0,33 a	1,80 $\pm$ 0,42 a	1,80 $\pm$ 0,20 a
IAC 1850	1,40 $\pm$ 0,31 a	1,70 $\pm$ 0,26 a	2,00 $\pm$ 0,30 a	1,60 $\pm$ 0,27 a
ANFC 9	1,70 $\pm$ 0,33 a	1,80 $\pm$ 0,25 a	2,00 $\pm$ 0,30 a	1,70 $\pm$ 0,37 a
DAMA	1,20 $\pm$ 0,42 a	1,60 $\pm$ 0,37 a	1,80 $\pm$ 0,42 a	2,30 $\pm$ 0,40 a
IAC Sintonia (Novo)	1,90 $\pm$ 0,38 a	2,30 $\pm$ 0,37 a	2,10 $\pm$ 0,18 a	1,40 $\pm$ 0,27 a
IAC Sintonia (Antigo)	1,90 $\pm$ 0,43 a	2,10 $\pm$ 0,41 a	2,20 $\pm$ 0,36 a	1,70 $\pm$ 0,30 a
IAC Imperador	1,70 $\pm$ 0,40 a	2,20 $\pm$ 0,36 a	2,60 $\pm$ 0,45 a	1,50 $\pm$ 0,31 a
BRS Sublime	1,00 $\pm$ 0,30 a	1,00 $\pm$ 0,33 a	1,10 $\pm$ 0,28 a	1,60 $\pm$ 0,40 a
Pérola	0,90 $\pm$ 0,28 a	1,80 $\pm$ 0,42 a	1,80 $\pm$ 0,42 a	1,80 $\pm$ 0,36 a
BRS FC 402	1,20 $\pm$ 0,25 a	1,80 $\pm$ 0,29 a	2,00 $\pm$ 0,26 a	2,80 $\pm$ 0,33 a
BRS Estilo	2,00 $\pm$ 0,45 a	2,00 $\pm$ 0,42 a	2,30 $\pm$ 0,37 a	1,80 $\pm$ 0,33 a
BRS MG Madrepérola	0,70 $\pm$ 0,21 a	1,10 $\pm$ 0,31 a	1,20 $\pm$ 0,25 a	1,60 $\pm$ 0,22 a
F	1,61	1,34	1,42	1,37
<i>p</i>	0,1064 <sup>ns</sup>	0,2157 <sup>ns</sup>	0,1762 <sup>ns</sup>	0,1982 <sup>ns</sup>

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); ns = não significativo

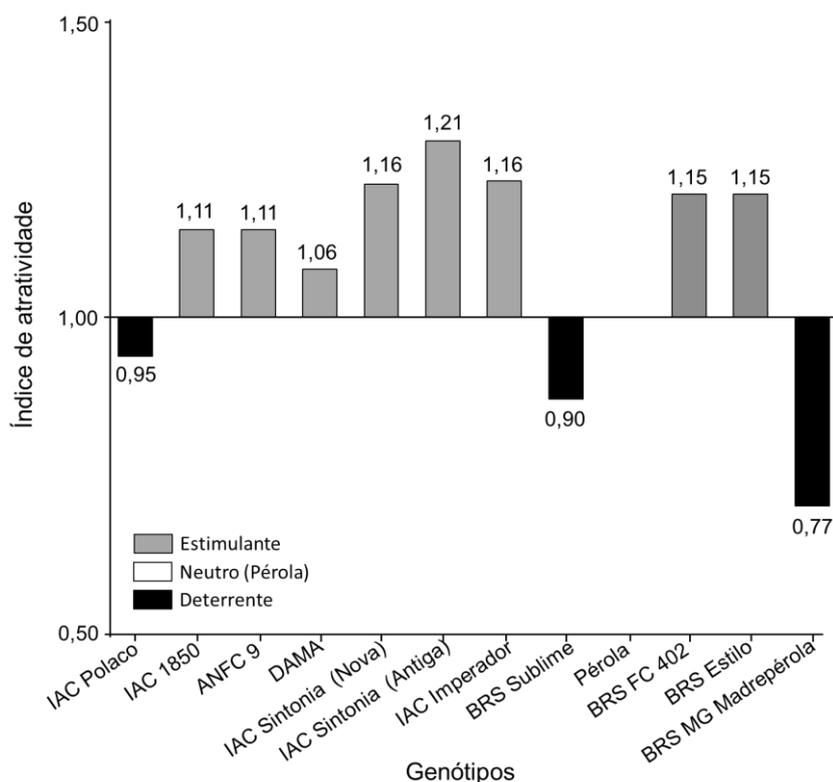


Figura 1. Índice de atratividade de lagartas de *Chrysodeixis includens* em genótipos de feijão em teste com chance de escolha.

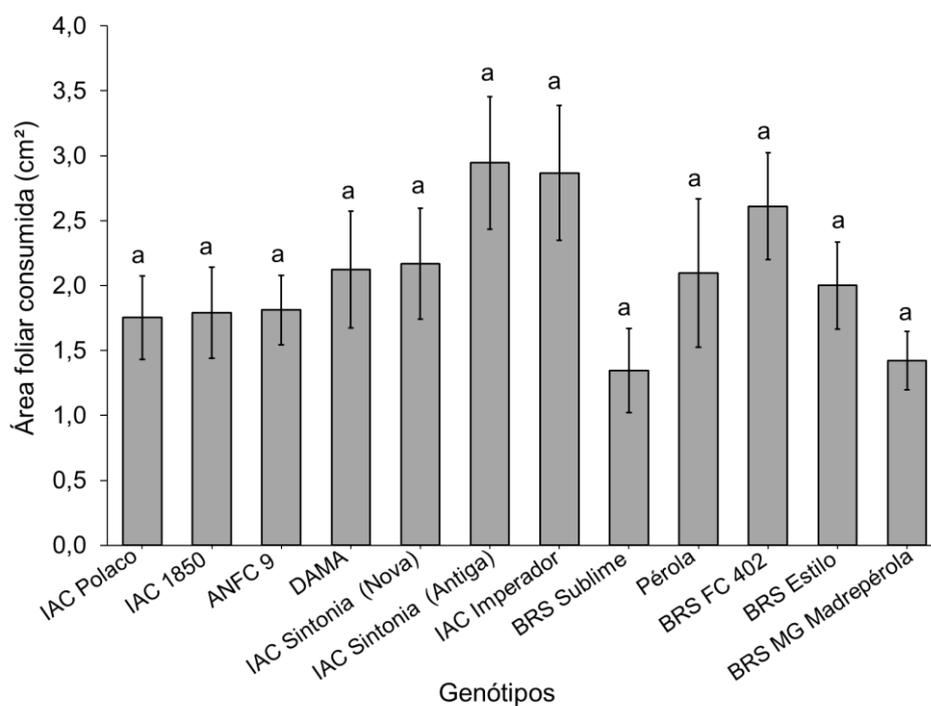


Figura 2. Área foliar consumida ( $\text{cm}^2 \pm \text{EP}$ ) de genótipos de feijão por lagartas de *Chrysodeixis includens* em teste com chance de escolha. Barras com diferentes letras diferem significativamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

No teste sem chance de escolha, houve diferença significativa no número médio de lagartas nos diferentes tratamentos somente aos 30 minutos após o início do teste ( $F = 1,96$ ;  $df = 9$ ;  $p = 0,0395$ ). O menor número médio de lagartas nesse período foi observado em ordem crescente nos discos foliares dos genótipos BRS Sublime, BRS Estilo, ANFC 9 e BRS MG Madrepérola (Tabela 2). Esses genótipos foram considerados deterrentes, com as folhas de BRS Sublime apresentando a maior deterrência, de acordo com o índice de atratividade. O restante dos genótipos foram classificados como estimulantes (Figura 3). Nos genótipos IAC Sintonia (Antiga seleção), IAC Sintonia (Nova seleção) e IAC Imperador foi observado o maior número de lagartas atraídas (Tabela 2), sendo considerados os genótipos mais estimulantes. O genótipo IAC Imperador foi o mais estimulante para as lagartas de *C. includens* no teste sem chance de escolha (Figura 3). Diferenças significativas foram observadas em relação à desfolha das lagartas ( $F = 4,15$ ;  $p < 0,0001$ ). No genótipo BRS Sublime teve significativamente a menor área foliar consumida e o genótipo BRS MG Madrepérola a maior área foliar consumida (Tabela 2; Figura 4).

Tabela 2. Número médio ( $\pm$  EP) de lagartas de *Chrysodeixis includens* em discos de folhas de feijão e área foliar consumida ( $\text{cm}^2$ ) no teste sem chance de escolha de diferentes genótipos de feijão.

Genótipos	Minutos			Área foliar consumida
	5	15	30	
IAC Polaco	1,70 $\pm$ 0,15a	1,80 $\pm$ 0,13a	1,80 $\pm$ 0,13ab	2,43 $\pm$ 0,23ab
IAC 1850	1,70 $\pm$ 0,15a	1,90 $\pm$ 0,10a	1,80 $\pm$ 0,13ab	1,92 $\pm$ 0,23abc
ANFC 9	1,50 $\pm$ 0,17a	1,60 $\pm$ 0,16a	1,70 $\pm$ 0,15ab	1,77 $\pm$ 0,24bc
DAMA	1,50 $\pm$ 0,17a	1,50 $\pm$ 0,17a	1,80 $\pm$ 0,13ab	2,09 $\pm$ 0,23abc
IAC Sintonia (Nova)	1,80 $\pm$ 0,13a	1,50 $\pm$ 0,17a	1,90 $\pm$ 0,10a	1,64 $\pm$ 0,11bc
IAC Sintonia (Antiga)	1,90 $\pm$ 0,10a	1,80 $\pm$ 0,13a	1,90 $\pm$ 0,10a	1,90 $\pm$ 0,21abc
IAC Imperador	1,80 $\pm$ 0,13a	1,90 $\pm$ 0,10a	1,90 $\pm$ 0,10a	2,34 $\pm$ 0,22ab
BRS Sublime	1,30 $\pm$ 0,26a	1,60 $\pm$ 0,16a	1,20 $\pm$ 0,25b	1,22 $\pm$ 0,13c
Pérola	1,60 $\pm$ 0,16a	1,40 $\pm$ 0,22a	1,80 $\pm$ 0,13ab	2,05 $\pm$ 0,17abc
BRS FC 402	1,70 $\pm$ 0,15a	1,60 $\pm$ 0,16a	1,80 $\pm$ 0,13ab	1,88 $\pm$ 0,15abc
BRS Estilo	1,40 $\pm$ 0,22a	1,30 $\pm$ 0,21a	1,50 $\pm$ 0,16ab	1,87 $\pm$ 0,13bc
BRS MG Madrepérola	1,30 $\pm$ 0,21a	1,40 $\pm$ 0,22a	1,80 $\pm$ 0,13ab	2,81 $\pm$ 0,25a
F	1,33	1,47	1,96	4,15
<i>p</i>	0,2161 <sup>ns</sup>	0,1553 <sup>ns</sup>	0,0395	<0,0001

Genótipos	Horas			
	1	3	6	12
IAC Polaco	1,90 $\pm$ 0,10a	1,90 $\pm$ 0,10a	1,90 $\pm$ 0,10a	1,80 $\pm$ 0,13a
IAC 1850	1,90 $\pm$ 0,10a	1,90 $\pm$ 0,10a	1,90 $\pm$ 0,10a	1,70 $\pm$ 0,15a
ANFC 9	1,90 $\pm$ 0,10a	1,70 $\pm$ 0,15a	1,90 $\pm$ 0,10a	2,00 $\pm$ 0,00a
DAMA	2,00 $\pm$ 0,00a	2,00 $\pm$ 0,00a	2,00 $\pm$ 0,00a	2,00 $\pm$ 0,00a
IAC Sintonia (Nova)	1,90 $\pm$ 0,10a	2,00 $\pm$ 0,00a	2,00 $\pm$ 0,00a	1,80 $\pm$ 0,13a
IAC Sintonia (Antiga)	1,90 $\pm$ 0,10a	1,90 $\pm$ 0,10a	2,00 $\pm$ 0,00a	1,70 $\pm$ 0,15a
IAC Imperador	1,90 $\pm$ 0,10a	1,90 $\pm$ 0,10a	2,00 $\pm$ 0,00a	2,00 $\pm$ 0,00a
BRS Sublime	1,60 $\pm$ 0,16a	1,80 $\pm$ 0,13a	1,80 $\pm$ 0,13a	1,90 $\pm$ 0,10a
Pérola	2,00 $\pm$ 0,00a	2,00 $\pm$ 0,00a	1,90 $\pm$ 0,10a	1,80 $\pm$ 0,13a
BRS FC 402	2,00 $\pm$ 0,00a	2,00 $\pm$ 0,00a	2,00 $\pm$ 0,00a	1,90 $\pm$ 0,10a
BRS Estilo	1,90 $\pm$ 0,10a	2,00 $\pm$ 0,00a	2,00 $\pm$ 0,00a	2,00 $\pm$ 0,00a
BRS MG Madrepérola	1,90 $\pm$ 0,10a	1,90 $\pm$ 0,10a	2,00 $\pm$ 0,00a	1,80 $\pm$ 0,13a
F	1,23	1,16	0,94	1,16
<i>p</i>	0,2779 <sup>ns</sup>	0,3253 <sup>ns</sup>	0,5017 <sup>ns</sup>	0,3226

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); ns = não significativo

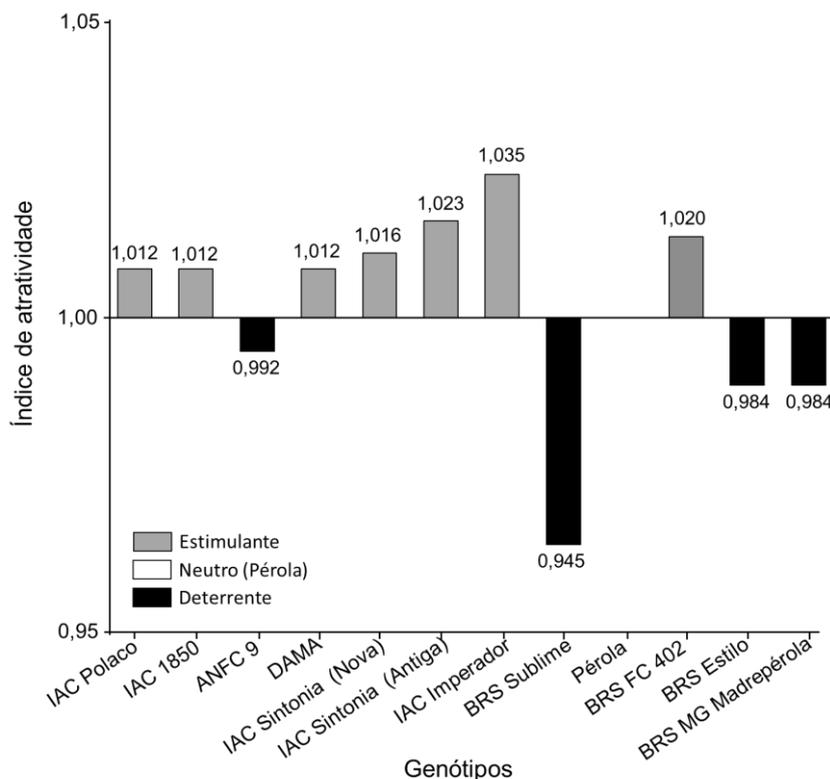


Figura 3. Índice de atratividade de lagartas de *Chrysodeixis includens* em genótipos de feijão em teste sem chance de escolha.

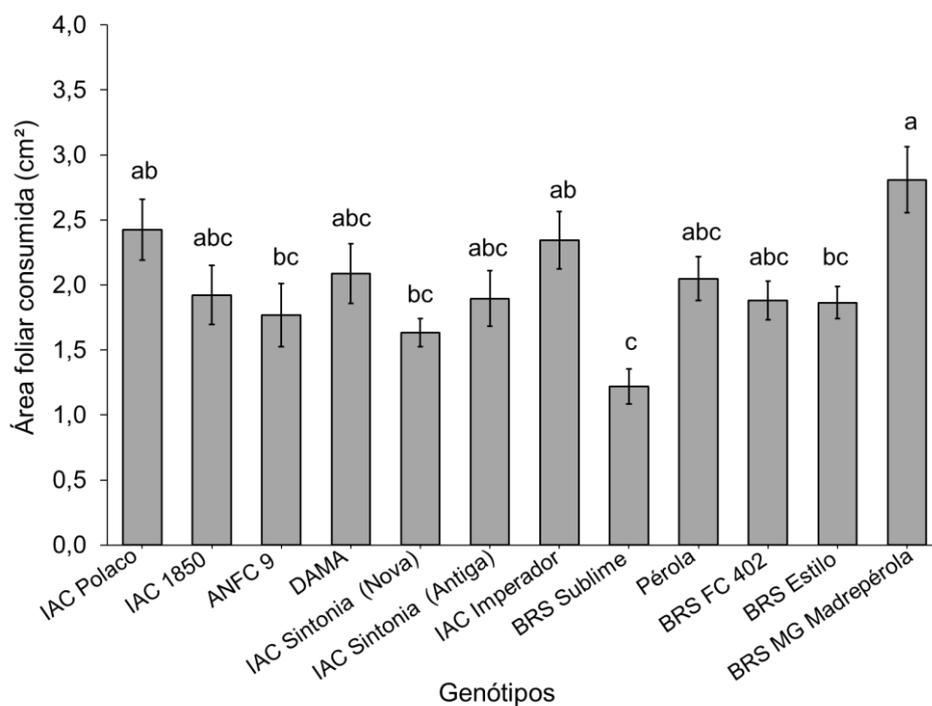


Figura 4. Área foliar consumida ( $\text{cm}^2 \pm \text{EP}$ ) de genótipos de feijão por lagartas de *Chrysodeixis includens* em teste sem chance de escolha. Barras com diferentes letras diferem significativamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

### 3.2. Antibiose

No experimento de antibiose, de 50 lagartas (repetições), apenas duas alimentadas com folhas do genótipo BRS MG Madrepérola chegaram a fase de pupa e somente um indivíduo chegou a fase adulta. Devido ao baixo número de repetições, não foi possível fazer a análise estatística desse genótipo nos parâmetros de duração das fases larval e pupal, peso pupal, viabilidade pupal, longevidade dos adultos e razão sexual, demonstrando que esse genótipo possui alta resistência constitutiva por antibiose, com baixos números de insetos que atingiram a fase pupal (4%) e adulta (2%). Os demais genótipos tiveram um número significativamente maior de lagartas que completaram a fase larval e pupal respectivamente: IAC Polaco (27 e 13), IAC 1850 (22 e 7), ANFC 9 (25 e 15), DAMA (24 e 8), IAC Sintonia - Nova seleção (26 e 18), IAC Sintonia - Antigo (29 e 12), IAC Imperador (35 e 26), BRS Sublime (28 e 12), Pérola (21 e 5), BRS FC 402 (18 e 9), BRS Estilo (21 e 10) (Tabela 3).

As porcentagens de lagartas que completaram a fase larval (viabilidade) entre os genótipos não foram significativas, exceto o BRS MG Madrepérola que diferiu dos demais genótipos na viabilidade larval ( $F = 4,66$ ;  $p < 0,0001$ ). Na viabilidade pupal não teve diferença entre os 11 genótipos comparados ( $F = 1,63$ ;  $p = 0,1307$ ). Porém no genótipo BRS FC 402 foi observado a segunda menor viabilidade larval, somente 36% das lagartas chegaram na fase de pupa. O genótipo Pérola apresentou a menor viabilidade pupal, ou seja apenas 22,67% das pupas emergiram adultos. Em contraste, no genótipo IAC Imperador foi observado a maior viabilidade larval (70 %) e a maior viabilidade pupal, 73,79% das pupas atingiram a fase adulta. Na análise de viabilidade do ciclo (lagarta-adulto) houve diferença estatística entre os 12 genótipos ( $F = 3,33$ ;  $p = 0,0018$ ). O IAC Imperador teve significativamente a maior viabilidade (52%), ou seja, das 50 lagartas avaliadas 26 atingiram a fase adulta. Nos genótipos BRS MG Madrepérola (2%), Perola (10%), IAC 1850 (14%), DAMA (16%) e BRS FC 402 (18%) foi observado as menores viabilidades, diferindo dos demais genótipos (Tabela 3).

Tabela 3. Médias ( $\pm$  EP) de viabilidade (%) de *Chrysodeixis includens* alimentados com genótipos de feijão nas fases larval e pupal, sob condições de laboratório.

Genótipos	Viabilidade (%)		
	Fase larval	Fase pupal	Ciclo (lagarta-adulto)
IAC Polaco	54,00 $\pm$ 9,27 (50) a	45,95 $\pm$ 13,75 (27) a	26,00 $\pm$ 9,27 (50) ab
IAC 1850	44,00 $\pm$ 6,78 (50) a	33,33 $\pm$ 11,00 (22) a	14,00 $\pm$ 5,10 (50) b
ANFC 9	50,00 $\pm$ 10,95 (50) a	62,14 $\pm$ 13,53 (25) a	30,00 $\pm$ 8,94 (50) ab
DAMA	48,00 $\pm$ 8,60 (50) a	40,24 $\pm$ 16,55 (24) a	16,00 $\pm$ 5,10 (50) b
IAC Sintonia (Nova)	52,00 $\pm$ 8,00 (50) a	68,33 $\pm$ 14,53 (26) a	34,00 $\pm$ 10,29 (50) ab
IAC Sintonia (Antiga)	60,00 $\pm$ 3,16 (50) a	40,10 $\pm$ 9,70 (29) a	24,00 $\pm$ 6,00 (50) ab
IAC Imperador	70,00 $\pm$ 7,07 (50) a	73,79 $\pm$ 5,12 (35) a	52,00 $\pm$ 6,63 (50) a
BRS Sublime	56,00 $\pm$ 5,10 (50) a	40,57 $\pm$ 14,88 (28) a	24,00 $\pm$ 8,72 (50) ab
Pérola	42,00 $\pm$ 7,35 (50) a	22,67 $\pm$ 9,33 (21) a	10,00 $\pm$ 4,47 (50) b
BRS FC 402	36,00 $\pm$ 5,10 (50) a	49,67 $\pm$ 7,08 (18) a	18,00 $\pm$ 3,74 (50) b
BRS Estilo	42,00 $\pm$ 10,68 (50) a	40,50 $\pm$ 11,96 (21) a	20,00 $\pm$ 8,37 (50) ab
BRS MG Madrepérola	4,00 $\pm$ 2,50 (50) b	*	2,00 $\pm$ 2,00 (50) b
F	4,66	1,63	3,33
<i>p</i>	<0,0001	0,1307 <sup>ns</sup>	0,0018

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); ns = não significativo; ( ) = número de insetos avaliados.\* não teve repetições suficientes para a análise estatística (mínimo 3 repetições).

As lagartas alimentadas com o genótipo BRS Estilo tiveram maior duração do período larval, ou seja, demorando 14,24 dias para atingirem a fase pupal. Em seguida, os genótipos Sintonia (Nova seleção) (13,94 dias) e BRS FC 402 (13,93 dias) ficaram na segunda e terceira posição. De maneira oposta, nos genótipos DAMA (12,99 dias) e IAC-Polaco (13,05 dias) as lagartas tiveram uma menor duração do período larval. No período pupal não houve diferença entre os genótipos ( $F = 1,30$ ;  $p = 0,2639$ ), com a duração do período não variando muito, sendo 6,00 e 6,65 dias para IAC-Polaco e BRS Estilo, respectivamente. Na somatória dos períodos larval e pupal houve diferença significativa entre os tratamentos ( $F = 2,53$ ;  $p = 0,0195$ ), com as lagartas confinadas nos genótipos BRS Estilo (21,07 dias), BRS FC 402 (20,40 dias) e Sintonia (Nova seleção) (20,17 dias) tiveram novamente as maiores durações, enquanto que em DAMA (19,12 dias) e IAC-Polaco (19,12 dias) as médias foram semelhantes e iguais a 19,12 dias (Tabela 4).

Tabela 4. Médias ( $\pm$  EP) de duração (dias) nas fases larval, pupal e o período total (fase larval e pupal) de *Chrysodeixis includens* alimentados com genótipos de feijão, sob condições de laboratório.

Genótipos	Duração (dias)		
	Fase larval	Fase pupal	Total (larval + pupal)
IAC Polaco	13,05 $\pm$ 0,09 (27) b	6,00 $\pm$ 0,00 (13) a	19,12 $\pm$ 0,08 (13) b
IAC 1850	13,71 $\pm$ 0,22 (22) ab	6,25 $\pm$ 0,25 (7) a	20,02 $\pm$ 0,49 (7) ab
ANFC 9	13,20 $\pm$ 0,22 (25) ab	6,23 $\pm$ 0,19 (15) a	19,43 $\pm$ 0,40 (15) ab
DAMA	12,99 $\pm$ 0,05 (24) b	6,08 $\pm$ 0,08 (8) a	19,12 $\pm$ 0,12 (8) b
IAC Sintonia (Nova)	13,94 $\pm$ 0,27 (26) ab	6,23 $\pm$ 0,11 (18) a	20,17 $\pm$ 0,34 (18) ab
IAC Sintonia (Antiga)	13,60 $\pm$ 0,25 (29) ab	6,23 $\pm$ 0,15 (12) a	19,83 $\pm$ 0,34 (12) ab
IAC Imperador	13,64 $\pm$ 0,14 (35) ab	6,19 $\pm$ 0,10 (26) a	19,83 $\pm$ 0,20 (26) ab
BRS Sublime	13,82 $\pm$ 0,10 (28) ab	6,05 $\pm$ 0,14 (12) a	19,89 $\pm$ 0,22 (12) ab
Pérola	13,21 $\pm$ 0,09 (21) ab	6,33 $\pm$ 0,33 (5) a	19,58 $\pm$ 0,39 (5) ab
BRS FC 402	13,93 $\pm$ 0,39 (18) ab	6,47 $\pm$ 0,16 (9) a	20,40 $\pm$ 0,52 (9) ab
BRS Estilo	14,24 $\pm$ 0,35 (21) a	6,65 $\pm$ 0,12 (10) a	21,07 $\pm$ 0,31 (10) a
BRS MG Madrepérola	*	*	*
F	3,32	1,30	2,53
p	0,0028	0,2639 <sup>ns</sup>	0,0195

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); ns = não significativo; ( ) = número de insetos avaliados. \* não teve repetições suficientes para a análise estatística (mínimo 3 repetições).

As lagartas alimentadas com o genótipo Pérola apresentam a maior média de peso (214,38 mg), seguido por IAC imperador com 202,82 mg. Em IAC Polaco (136,89 mg) e IAC 1850 (139,32 mg) foram observadas as menores médias de peso larval ( $F = 2,67$ ;  $p = 0,0104$ ). Em relação ao peso de pupas, os insetos alimentados com ANFC 9 (195,77 mg) e Pérola (193,63 mg) apresentaram as maiores medias, com IAC 1850 e IAC Sintonia (Nova seleção) apresentando as pupas com as mais baixas médias de peso, 130,03 e 143,60 mg, respectivamente ( $F = 3,76$ ;  $p = 0,0010$ ) (Tabela 5).

Tabela 5. Médias ( $\pm$  EP) de peso (mg) de *Chrysodeixis includens* alimentados com genótipos de feijão nas fases larval e pupal, sob condições de laboratório.

Genótipos	Peso (mg)	
	Fase larval	Fase pupal
IAC Polaco	136,89 $\pm$ 17,81 (34) b	170,09 $\pm$ 3,92 (19) abc
IAC 1850	139,32 $\pm$ 11,22 (28) b	130,03 $\pm$ 15,68 (11) bc
ANFC 9	165,07 $\pm$ 23,42 (30) ab	195,77 $\pm$ 17,11 (17) a
DAMA	149,54 $\pm$ 14,98 (32) ab	164,21 $\pm$ 4,08 (12) abc
IAC Sintonia (Nova)	155,27 $\pm$ 10,42 (32) ab	143,60 $\pm$ 5,29 (19) bc
IAC Sintonia (Antiga)	160,90 $\pm$ 7,24 (30) ab	170,15 $\pm$ 8,95 (17) abc
IAC Imperador	202,82 $\pm$ 1,28 (41) ab	149,92 $\pm$ 5,34 (30) abc
BRS Sublime	184,21 $\pm$ 8,69 (29) ab	147,53 $\pm$ 5,20 (20) abc
Pérola	214,38 $\pm$ 36,23 (23) a	193,63 $\pm$ 8,45 (9) ab
BRS FC 402	162,01 $\pm$ 15,39 (22) ab	181,63 $\pm$ 17,53 (11) abc
BRS Estilo	142,72 $\pm$ 16,92 (26) ab	176,17 $\pm$ 13,54 (15) abc
BRS MG Madrepérola	181,96 $\pm$ 8,94 (12) ab	*
F	2,67	3,76
p	0,0104	0,001

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). ( ) = número de insetos avaliados. \* não teve repetições suficientes para a análise estatística (mínimo 3 repetições).

A longevidade dos adultos (sem alimento) não diferiu estatisticamente entre os genótipos ( $F = 1,38$ ;  $p = 0,2244$ ). Porém, as lagartas alimentadas com ANFC 9 proporcionaram o maior período de vida para a fase adulta, com média de 3 dias. No genótipo IAC 1850 as mariposas tiveram a menor longevidade (1,27 dias). Em relação a razão sexual nos genótipos BRS Estilo, BRS Sublime, ANFC 9 emergiu proporcionalmente uma maior quantidade de machos em relação a fêmeas. Nos genótipos DAMA (85%), IAC Polaco (65%), IAC 1850 (63%) emergiram mais fêmeas, enquanto em IAC 1850 e BRS FC 402, houve uma maior quantidade de pupas com deformidades (27,27 %), com a maior taxa de deformidade de adultos (20,0%) observada em BRS Estilo (Tabela 6).

Tabela 6. Médias ( $\pm$  EP) de longevidade dos adultos (dias), razão sexual (fêmeas/machos) e deformidades de pupas e adultos (%) de *C. includens* alimentados com genótipos de feijão na fase larval (os adultos não foram alimentados), sob condições de laboratório.

Genótipos	Longevidade dos adultos (dias)	Razão sexual (F/M)	Deformidades (%)	
			Pupas	Adultos
IAC Polaco	1,86 $\pm$ 0,54 (13) a	1,86 (13)	10,53 (19)	7,69 (13)
IAC 1850	1,27 $\pm$ 0,37 (7) a	1,70 (7)	27,27 (11)	0,00 (7)
ANFC 9	3,00 $\pm$ 0,84 (15) a	0,52 (15)	0,00 (17)	6,66 (15)
DAMA	2,50 $\pm$ 0,64 (8) a	5,67 (8)	8,33 (12)	12,50 (8)
IAC Sintonia (Novo)	2,15 $\pm$ 0,10 (18) a	0,85 (18)	10,53 (19)	11,11 (18)
IAC Sintonia (Antigo)	2,27 $\pm$ 0,19 (12) a	0,75 (12)	0,00 (17)	8,33 (12)
IAC Imperador	2,13 $\pm$ 0,17 (26) a	1,00 (26)	3,33 (30)	0,00 (26)
BRS Sublime	1,53 $\pm$ 0,42 (12) a	0,43 (12)	5,00 (20)	8,33 (12)
Pérola	1,66 $\pm$ 0,33 (5) a	1,13 (5)	0,00 (9)	0,00 (5)
BRS FC 402	2,43 $\pm$ 0,19 (9) a	0,92 (9)	27,27 (11)	11,11 (9)
BRS Estilo	1,56 $\pm$ 0,42 (10) a	0,18 (10)	13,33 (15)	20,00 (10)
BRS MG Madrepérola	*	*	*	*
F	1,38	-	-	-
<i>p</i>	0,2244 <sup>ns</sup>	-	-	-

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); F = porcentagem (%) de fêmeas; M = porcentagem (%) de machos; ns = não significativo; ( ) = número de insetos avaliados. \* não teve repetições suficientes para a análise estatística (mínimo 3 repetições).

#### 4. Discussão

Os resultados desse trabalho demonstraram que os genótipos avaliados influenciam de forma diferente no comportamento de alimentação e no crescimento/desenvolvimento de *C. includens*. No teste de preferência alimentar com chance de escolha, não houve diferença entre os genótipos aos 5 minutos, 1, 3, 6 e 12 horas após a infestação, sugerindo que todos os genótipos avaliados possuem um mínimo de compostos atrativos que permite a aproximação e alimentação pelas lagartas. Durante a escolha de um hospedeiro, o inseto herbívoro pode ser atraído e se locomover para vários locais, até que encontre a planta de sua preferência para se alimentar (Baldin et al., 2019). Em estudos futuros, aumentar os discos foliares e o período de avaliação, além de modificar a arena (trocar por um olfatómetro) podem ser alternativas para uma melhor avaliação em testes com chance de escolha (Morando, 2014; Freitas, 2019).

Porém, houve diferença significativa entre os genótipos aos 15 e 30 minutos após a infestação, com BRS MG Madrepérola, BRS Sublime e IAC Polaco sendo os menos atrativos nesses dois períodos e considerando a média de todos os períodos. Também, foram classificados como os únicos genótipos deterrentes pelo índice de atratividade (Kogan e Goeden, 1970). Além disso, esses genótipos foram os menos consumidos pelas lagartas, sugerindo que as plantas desses materiais possuem substâncias inseticidas decorrentes do metabolismo secundário, que podem atuar diretamente sobre os insetos herbívoros como repelentes, dissuasivas, deterrentes, tóxicas ou inibidoras de alimentação, geralmente associadas a antixenose, com as substâncias deterrentes impedem o início da alimentação, enquanto as inibidoras reduzem a alimentação (Vendramim e Guzzo, 2009). Os principais compostos de defesa estão na classe dos terpenóides e compostos aromáticos (Ulhoa, 2018; Freitas 2020).

Muitas dessas substâncias podem ser captadas pelos insetos herbívoros, como compostos voláteis que podem ajudar (caimônios) ou prejudicar (alomônios) a localização do hospedeiro (planta) pelo inseto. A baixa atratividade da planta pode estar relacionada com a ausência de caimônios e/ou altos níveis de alomônios (Smith, 2005; Xu e Turlings, 2018). De acordo com Ulhoa et al., (2020), as plantas também podem liberar voláteis específicos atraindo os inimigos naturais dos insetos herbívoros (predadores e parasitoides) ou repelindo o inseto-praga. Morando et al., (2015) verificou o consumo foliar e atratividade de lagartas de *C. includens* com diferentes genótipos de feijão, observando que Arcelina 4, BRS Horizonte, Pérola, H9A102-1-1-1-52, IAC Boreal, IAC Harmonia e IAC Formoso apresentaram menor consumo foliar e atratividade, demonstrando que esses genótipos expressam resistência por antixenose (alimentação). No estudo de Pastório (2020) foi avaliado o índice de atratividade (IA) de lagartas de *C. includens* à 23 genótipos de feijão em teste com chance de escolha. Os genótipos Campos Gerais, MD 1133, Garça, Celeiro, Curió, Capitão, Tangará, Gralha, Eldorado, Tuiuiú, Sabiá, IAPAR 81, Juriti e BRS Esteio foram repelentes. Os genótipos Quero-quero, Nhambu, Corujinha, Andorinha, ANFC 9, Siriri, BRS Radiante e Verdão foram atrativos. De forma semelhante, o genótipo ANFC 9 neste trabalho também foi classificado como atrativo no teste com chance de escolha.

O genótipo IAC Sintonia (Antiga seleção) foi o mais atraído pelas lagartas no teste com chance de escolha, sendo considerado o material mais estimulante e mais consumido pelas lagartas, demonstrando ter suscetibilidade a esse lepidóptero. Os genótipos IAC Sintonia (Nova seleção) e IAC Imperador, também podem ser considerados suscetíveis, pois foram classificados como estimulantes, com alta atratividade e consumo foliar. Pastório (2020) também verificou o consumo foliar de diferentes genótipos, ANFC 9, Celeiro, Gralha e IAPAR 81 foram os mais consumidos e Eldorado, Verdão e Andorinha tiveram o menor consumo foliar.

No teste de preferência alimentar sem chance de escolha, houve diferença aos 30 minutos após a infestação, com os genótipos BRS Sublime, BRS Estilo, ANFC 9 e BRS MG Madrepérola atraindo um menor número de lagartas, sendo classificados também como deterrentes, destacando-se BRS Sublime e BRS MG Madrepérola que no teste com chance de escolha também demonstraram expressar resistência por antixenose. No teste sem chance de escolha, os insetos não possuem alternativa de escolha (Smith, 2005), com isso possivelmente há alguma característica nas plantas de BRS Sublime, BRS Estilo e ANFC 9 capazes de interferir negativamente no comportamento de alimentação de *C. includens*, pois nesses materiais foram verificados menores consumos foliares.

Além de mecanismos químicos, as plantas podem utilizar suas características morfológicas tais como espinhos, pilosidades, tricomas ou mesmo deposição de substâncias químicas como cutinas, ceras, suberinas e silicatos nas folhas formando uma “barreira” física, que pode ocasionar efeitos negativos no comportamento de alimentação de inúmeros insetos-praga (Ulhoa, 2018; Baldin et al., 2019).

Nos testes com e sem chance de escolha, o genótipo BRS Sublime foi o menos consumido pelas lagartas entre todos os tratamentos, corroborando com os índices de atratividade, sendo ele menos atrativo no teste sem chance de escolha e um dos menos atrativos no teste com chance. Entretanto, o consumo foliar nem sempre é proporcional à atratividade, uma vez que folhas de plantas que liberam voláteis atrativos podem ter substâncias deterrentes, levando à redução na alimentação e trazendo consequências negativas para o desenvolvimento biológico do inseto herbívoro (Smith, 2005; Hagenbucher et al., 2013). Nesse estudo foi verificado no genótipo IAC Sintonia (Nova seleção), que embora tenha sido atrativo (estimulante),

teve baixo consumo pelas lagartas, enquanto BRS MG Madrepérola teve menos lagartas presentes em seus discos foliares, porém, maior consumo foliar pelas lagartas no teste sem chance de escolha, além de ser o genótipo mais resistente por antibiose (viabilidade larval de apenas 4%). De forma semelhante ocorreu no estudo de Morando et al., (2015), onde os genótipos de feijão IAC Jabola e Flor de Mayo, foram pouco atrativos para lagartas de *C. includens*, porém com índices de consumo elevados, enquanto IAC Boreal foi atrativo, porém com baixo consumo foliar. Segundo Baldin et al., (2019), a não relação entre atração e consumo para alguns materiais confirma a diferença entre a natureza dos estímulos e as respostas do inseto na seleção do hospedeiro e na alimentação. Nesse sentido, os genótipos IAC Sintonia (Nova seleção), IAC Sintonia (Antiga seleção) e IAC Imperador, no teste sem chance de escolha, foram os mais atrativos, sendo considerados os mais estimulantes de acordo com o índice de atratividade, no entanto foram suscetíveis nos testes com e sem chance de escolha. Entre esses genótipos houve grande variação na média de consumo foliar de 1,64 a 2,34 cm<sup>3</sup>, com a ingestão de maior ou menor quantidade de alimento dependendo da palatabilidade dos tecidos vegetais, o que varia entre genótipos suscetíveis e resistentes (Smith, 2005).

Importante destacar que, de todos os genótipos de feijão estudados nesse trabalho, somente o ANFC 9 (Pastório, 2020) e Pérola (Morando et al., 2015, 2017) já haviam sido testados quanto à resistência a *C. includens*, usando metodologia semelhante. Morando et al. (2015) citou o Pérola como um genótipo neutro para lagartas de *C. includens*, em testes de preferência alimentar e atratividade. Resultado semelhante, foi encontrado nesse trabalho, onde esse material mostrou ser neutro, além de ser escolhido como o padrão de suscetibilidade utilizando o índice de atratividade (classificado como neutro).

Nos testes avaliando parâmetros do desenvolvimento das lagartas de *C. includens* confinadas nos doze genótipos, de 50 lagartas apenas duas alimentadas com BRS MG Madrepérola chegaram a fase de pupa (viabilidade larval de 4%) e somente uma atingiu a fase adulta (viabilidade do ciclo de 2%), indicando ser o mais resistente por antibiose, mostrando também ter resistência por antixenose nos testes de preferência alimentar, o que afeta principalmente as fases imaturas (Larvas e ninfas), conforme cita Baldin et al. (2019). Nos experimentos de Pastório (2020), o

genótipo Uirapuru, foi o mais resistente nos testes de antibiose com a lagarta *C. includens*. Ressalta-se que em comparação com os demais materiais BRS MG Madrepérola apresentou diferença significativa, sendo nele encontrada a segunda menor viabilidade larval, com apenas com 36% das lagartas alcançando a fase de pupa, seguido de BRS Estilo e Pérola com 42 %, IAC 1850 com 44% e DAMA com 48%. Possivelmente as folhas de BRS MG Madrepérola possuem compostos anti-nutricionais e/ou substâncias secundárias relacionados à defesa que podem acarretar impropriedades nutricionais. Curiosamente esse genótipo no teste de preferência alimentar (sem chance de escolha) foi o mais consumido pelas lagartas. A qualidade e quantidade de nutrientes consumida na fase larval podem interferir na sobrevivência, desenvolvimento, crescimento e fecundidade do inseto (Mithofer e Boland et al., 2012). Em geral, os insetos precisam de lipídeos, carboidratos, aminoácidos, minerais e vitaminas. O excesso ou a falta desses compostos nutricionais podem ser prejudiciais ao desenvolvimento. Esses nutrientes devem ser ingeridos em quantidades adequadas e em equilíbrio pelos insetos (Chapman, 2013). Provavelmente as folhas de BRS MG Madrepérola possui deficiência desses nutrientes essenciais, devido à baixa quantidade de indivíduos que atingiram a fase de pupa.

Em contraste, no genótipo IAC Imperador foi observado a maior viabilidade larval (70 %), pupal (73,79%) e ciclo total (52%). Destacando-se como o material mais adequado para o desenvolvimento de *C. includens*, ou seja o mais suscetível. No genótipo IAC Sintonia (Antiga seleção) foi observado a segunda maior viabilidade larval, 60 % das lagartas alcançando a fase de pupa. No genótipo IAC Sintonia (Nova seleção) foi observado a segunda maior viabilidade pupal, 68,33 % das lagartas alcançando a fase adulta. Além de serem adequados para o desenvolvimento da lagarta-falsa-medideira, esses materiais também foram considerados suscetíveis nos testes de preferência alimentar. No estudo de Morando et al. (2017) foi observado que os genótipos Rubi, BRS Horizonte, IAPAR 57 e H9A102-1-1-1-52 apresentaram índices de viabilidade larval superiores a 75 %. Barrionuevo et al. (2012) observaram viabilidade larval de 74,4 % e viabilidade pupal de 72,3% para *C. includens*, em dieta artificial. Com relação à viabilidade pupal, Perola (22,67 %) e IAC 1850 (33,3 %) apresentaram elevada mortalidade nesta fase, indicando antibiose. Em comparação,

no estudo de Morando et al. (2017) os genótipos IAC Boreal (23,3 %), IAC Formoso (26,6 %), IAC Jabola (33,3 %) e IAPAR 44 (35,0 %), apresentaram as menores viabilidades na fase de pupa. Na análise de viabilidade do ciclo (lagarta-adulto), nos genótipos BRS MG Madrepérola (2%), Perola (10%), IAC 1850 (14%), DAMA (16%) e BRS FC 402 (18%) foi observado as menores viabilidades, indicando resistência por antibiose a *C. includens*.

Analisando-se a duração total (larval + pupal), verificou-se que lagartas confinadas às cultivares BRS Estilo (21,07 dias), BRS FC 402 (20,40 dias) e IAC Sintonia (Nova seleção) (20,17 dias) foram as que apresentaram o maior período da eclosão da lagarta até a emergência do adulto, sugerindo a ocorrência de resistência por antibiose. Substratos que causam maior duração de desenvolvimento ao inseto, fornecem baixa qualidade nutricional ou é portador de substâncias prejudiciais à biologia do mesmo. Costuma se expressar através de elevada mortalidade nos ínstares iniciais, diferenças no peso, além de deformidades diversas (Pereyra e Sanchez, 2006).

De maneira oposta, os genótipos DAMA e IAC Polaco (19,12 dias) foram materiais mais adequados ao desenvolvimento do inseto. Ao comparar alimentos diferentes, o substrato que proporciona a menor duração no desenvolvimento é considerado melhor para o desenvolvimento do inseto, portanto, mais suscetíveis (Santos et al., 2000). Em relação a duração da fase larval, nesse estudo variou de 12,99 a 14,24 dias. De forma parecida foi observado no estudo de Morando et al. (2017) com 15,59 a 14,13 dias e no estudo de Pastório (2020) com média de 15,6 dias. Em comparação usando a soja como alimento, Schlick-Souza et al. (2013) verificaram duração média de 16,8 dias e Specht et al (2019) de 16,2 dias. Em outro trabalho, Kidd e Orr (2001) observaram duração média da fase larval de 13,2 e 14,2 dias, em soja e em dieta artificial, respectivamente. As médias de período larval de *C. includens* observadas neste trabalho, sugerem que o feijoeiro seja bastante adequado a lagarta-falsa-medideira, pois o inseto completa a fase larval mais rápido que à soja, e a dieta artificial.

A fase pupal de *C. includens* alimentadas com todos os genótipos variou de 6,00 a 6,65 dias. Valor semelhante ao estudo de Mitchell (1967), que observou duração média da fase pupal de 6,64 dias, porém as lagartas foram alimentadas com

dieta artificial. Nos experimentos de Morando et al. (2017) as lagartas de *C. includens* alimentadas com genótipos de feijão variou de 7,28 a 7,93 dias na fase pupal e de Pastório (2020) variou de 6,60 a 7,50 dias. Nos genótipos IAC 1850, BRS FC 402 foi identificado o maior número de pupas com deformidades (27,27 %), sugerindo a ocorrência de antibiose. De acordo com Parra (2001), a deformidade de pupas é um parâmetro para avaliar diferentes dietas, pois está associada com deficiência ou inadequação nutricional. Em relação ao genótipo ANFC 9 que também foi testado por Pastório (2020), o peso de pupas, a razão sexual e deformidade de adultos tiveram resultados semelhantes.

As menores médias de peso das lagartas com 10 dias foram obtidas com IAC Polaco (136,89 mg) e IAC 1850 (139,32 mg), já o Pérola apresentou o maior peso larval (214,38). A menor média de peso das pupas com 24 horas foi obtida com IAC 1850 (130,03 mg) e o maior com ANFC 9 (195,77). Beach et al. (1985) e Beach e Todd (1986) constataram que lagartas de *C. includens* alimentadas com genótipos resistentes apresentaram menor peso pupal, em relação àquelas confinadas a genótipos suscetíveis. Os insetos possuem exigência nutricional diversificada, dependendo da espécie, fase de desenvolvimento, sexo, ambiente e outros fatores, para o crescimento, manutenção dos tecidos, metabolismo e para a reprodução. A composição desses nutrientes nas folhas das plantas é variável, depende de diversos fatores, inclusive o genótipo da planta (Smith, 2005; Mithofer e Boland, 2012; Hagenbucher et al., 2013).

Os mecanismos de resistência surgem devido a complexa interação planta-inseto que vem se moldando e modificando a milhões de anos, pela evolução. Os fatores de resistência dependem da espécie de inseto, espécie de planta e genótipo. Assim, é comum a ocorrência de resistência específica, em que determinada característica expressa na planta ocasiona efeito negativo em uma espécie-praga, mas não afeta outras espécies (Takabayashi et al., 1994; Smith, 2005; Stout, 2020).

Concluindo, os genótipos de feijão resistentes identificados nesse trabalho foram: BRS MG Madrepérola (antixenose e antibiose), BRS Sublime (antixenose) e IAC 1850 (antibiose). Em contraste, IAC Sintonia (Antiga seleção), IAC Sintonia (Nova seleção) e IAC Imperador foram suscetíveis. Este é o primeiro estudo na literatura que observou a resistência constitutiva destes genótipos a *C. includens*, exceto o genótipo

Pérola e ANFC 9 que foi testado em estudos anteriores (Morando et al., 2015, 2017; Pastório, 2020). A seleção de materiais com resistência a insetos, pode favorecer ganhos econômicos significativos (Hutchison et al., 2010), pois podem ser utilizados com eficiência junto com outros métodos de controle (biológico, cultural, químico, comportamental). Portanto, os dados desse estudo fornecem informações importantes que poderão auxiliar os produtores de feijão no manejo integrado da lagarta-falsa-medideira. Entre os maiores desafios no uso de cultivares resistentes a insetos está a dificuldade em tornar estas características de resistência expressas sem afetar a produtividade. Pois a resistência possui um custo metabólico para a planta e conseqüentemente redução na realocação de recursos energéticos para o crescimento e produção (Jauhar, 2006; Karasov et al., 2017). Outros estudos ainda são necessários, como identificar os mecanismos responsáveis pela resistência a *C. includens* para aumentar sua expressão ou incorporá-los no feijoeiro em programas de melhoramento genético. Além disso, avaliar a resistência e produtividade/produção no campo, para viabilizar o plantio em grande escala desses genótipos pelos produtores de feijão.

## 5. Referências

Baldin ELL, Lourenção AL, Schlick-Souza EC (2014) Outbreaks of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) in common bean and castor bean in São Paulo State, Brazil. **Bragantia** 73: 458–461.

Baldin ELL, Stamm M, Mitchell D, Bentivenha JPF, Koch KG, Heng-Moss TM, Hunt TE (2018) Feeding Behavior of *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae) on Soybeans Exhibiting Antibiosis, Antixenosis, and Tolerance Resistance. **Florida Entomologist** 101: 223-228.

Baldin ELL, Vendramin JD, Lourenção AL (2019) **Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações**. Piracicaba: FEALQ, 493p.

Barrionuevo MJ, Murua MG, Goane L, Meagher R, Navarro F (2012) Life table studies of *Rachiplusia nu* (Guenee) and *Chrysodeixis* (= *Pseudoplusia includens* (Walker)) (Lepidoptera: Noctuidae) on artificial diet. **Florida Entomologist** 95: 944–951.

Bernardi O, Malvestiti GS, Dourado PM, Oliveira WS, Martinelli S, Berger GU, Head GP, Omoto (2012) Assessment of the high-dose concept and level of control provided

by MON 87701x MON 89788 soybean against *Anticarsia gemmatalis* and *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Pest Management Science** 68: 1083-1091.

Boiça Júnior AL, Souza BHS, Bottega DB, Rodrigues NEL, Costa EM, Ribeiro Z A (2012) Resistência de plantas e produtos naturais no controle de pragas em culturas agrícolas. In: Busoli AC, Grigolli JFJ, Souza LA, Kubota MM, Costa EM, Santos LAO, Netto JC, Viana MA.(Ed.). **Tópicos em entomologia agrícola – V**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda., 2012. p. 139- 158.

Boiça Júnior A, Souza B, Lopes G, Costa E, Moraes R, Eduardo W (2013) Atualidades em resistência de plantas a insetos. In.: Busoli A, Alencar J, Fraga D, Souza L, Souza B, Grigolli J (Eds.) **Tópicos em Entomologia Agrícola - VI**. Jaboticabal: Multipress Ltda. p. 207-224.

Boiça Júnior AL, Souza BH, Costa EN, Paiva LB (2017a) Influence of fall armyworm previous experience with soybean genotypes on larval feeding behavior. **Arthropod Plant Interactions** 11:89-97.

Boiça Júnior AL, Freitas MM, Nogueira L, Di Bello MM, Freitas CA, Barcelos PHS, Faria SCQdS (2017b) Resistência de plantas a insetos em culturas agrícolas. In.: Castilho RdC, Barilli DR, Truzi CC (eds.) **Tópicos em Entomologia Agrícola - X**. Jaboticabal, SP: Gráfica Multipress, p. 97-122.

Boiça Júnior AL, Freitas CA, Freitas MM, Nogueira L, Di Bello MM, Fonseca SS, Eduardo WI (2018) Estratégias de defesa de plantas a insetos. In.: Castilho RC, Truzi CC, Pinto CPG (Eds.) **Tópicos em Entomologia Agrícola - XI**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda. p. 71-93.

Boiça Júnior AL, Freitas MM, Freitas CA, Di Bello MM, Ulhoa LA, Pascutti TM, Souza BHS (2019) Respostas induzidas de defesa das plantas e implicações no manejo integrado de pragas. In.: Castilho RDC, Rezende GF, Nascimento J, Rossi GD (eds.) **Tópicos em Entomologia Agrícola - XII**. Jaboticabal, SP: Multipress, p. 137-160.

Bueno RCOF, Parra JRP, Bueno AF, Moscardi F, Oliveira JRG, Camillo MF (2007) Sem barreira. **Revista Cultivar** 93:12-15.

Bueno RCOF, Bueno ADF, Moscardi F, Parra JRP, Hoffmann-Campo CB (2011) Lepidopteran larva consumption of soybean foliage: basis for developing multiple-species economic thresholds for pest management decisions. **Pest Management Science** 67:170-174.

Bueno AF, Carvalho GA, Santos AC, Sosa-Gómez DR, Silva DM (2017) Pesticide selectivity to natural enemies: challenges and constraints for research and field recommendation. **Ciência Rural** 47:6.

CONAB (2020) **Acompanhamento da safra Brasileira: grãos**. Brasília: CONAB 8: 77p. (CONAB. Documento, 1).

CONAB (2021) **Acompanhamento da safra Brasileira: grãos**, v.9 Safra 2021/22, n.3 - Terceiro levantamento, Brasília: CONAB, 99p. (CONAB. Documento, 1).

Chapman RF (2013) **The insects: structure and function**. New York: Cambridge University Press, pp.

Depec, 2017 - Departamento de Pesquisa e Estudos Econômicos. Disponível em: <[https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset\\_feijao.pdf](https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_feijao.pdf)>. Acesso em: 27 fev. 2019.

FAO (2022) **Crops and livestock products**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>>. Acessado em: 01 jul. 2021.

FAOSTAT (2017) **Crops**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Acessado em: 08 mai. 2021.

Freitas CA (2019). **Metodologia de pesquisa e resistência constitutiva de genótipos de algodão a *Spodoptera cosmioides* (Walker) e *Chloridea virescens* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae)**. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Entomologia Agrícola) - Unesp Jaboticabal.

Freitas MM (2020). **Resistência em soja a *Spodoptera cosmioides* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) mediada por compostos secundários expressos constitutivamente ou induzidos por herbivoria**. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Entomologia Agrícola) - Unesp Jaboticabal.

Geiger F, Bengtsson J , Berendse F, Weisser WW, Emmerson M, Morales MB, Ceryngier P, Liira J, Tscharrntkei T , Winqvist C , Eggers S , Bommarco R , Pa"rt T , Bretagnolle V, Plantegenest M, Clement LW, Dennis C, Palmer C, Oñate JJ, Guerrero I, Hawro V, Aavik T, Thies C , Flohre A, Hanke S, Fischer C, Goedhart PW, Inchausti P (2010) Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. **Basic and Applied Ecology** 11: 97–105.

Greene G, Leppla N, Dickerson W (1976) Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology** 69:487-488.

Hagenbucher S, Olson DM, Ruberson JR, Wäckers FL, Romeis J (2013) Resistance mechanisms against arthropod herbivores in cotton and their interactions with natural enemies. **Critical Reviews in Plant Sciences** 32:458-482.

Herzog DC (1980) Sampling soybean looper on soybean. In: Kogan M, Herzog DC. (ed.). **Sampling methods in soybean entomology**. New York: Springer-Verlag. p. 140-168.

Hutchison WD, Burkness EC, Mitchell PD, Moon RD, Leslie TW, Fleischer SJ, Abrahamson M, Hamilton KL, Steffey KL, Gray ME, Hellmich RL, Kaster LV, Hunt TE, Wright RJ, Pecinovsky K, Rabaey TL, Flood BR, Raun ES (2010) Areawide suppression of European corn borer with Bt maize reaps savings to non-Bt maize growers. **Science** 330:222-225.

Jauhar PP (2006) Modern biotechnology as an integral supplement to conventional plant breeding: the prospects and challenges. **Crop Science** 46:1841-1859.

Karasov TL, Chae E, Herman JJ, Bergelson J (2017) Mechanisms to mitigate the trade-off between growth and defense. **The Plant Cell** 29:666-680.

Kessler A, Baldwin IT (2002) Plant responses to insect herbivory: the emerging molecular analysis. **Annual Review of Plant Biology** 53: 299–328.

Kidd KA, Orr DB (2001) Comparative feeding and development of *Pseudoplusia includes* (Lepidoptera: Noctuidae) on kudzu and soybean foliage. **Annals of the Entomological Society of America** 94:219-225.

Kogan M, Goeden RD (1970) The host-plant range of *Lema trilineata daturaphila* (Coleoptera: Chrysomelidae). **Annals of the Entomological Society of America** 63:1175-1180.

Li Z (2018) Evaluation of regulatory variation and theoretical health risk for pesticide maximum residue limits in food. **Journal of Environmental Management** 219:153-167.

Magalhães MD, Fidelis AS, Izabela T, Borges M, Laumann RA, Blassioli-Moraes MC (2019). *Anthonomus grandis* aggregation pheromone induces cotton indirect defence and attracts the parasitic wasp *Bracon vulgaris*. **Journal of Experimental Botany** 70: 1891-1901.

Mitchel ER (1967) Life history of *Pseudoplusia includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of the Georgia Entomological Society** 2(2): 53-57.

Mitchell C, Brennan RM, Graham J, Karley AJ (2016) Plant defense against herbivorous pests: exploiting resistance and tolerance traits for sustainable crop protection. **Frontiers in Plant Science** 7: 1132.

Morando R (2014). **Resistência de genótipos de feijoeiro a *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae)**. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Proteção de Plantas) - Unesp Botucatu.

Morando R, Baldin ELL, Cruz PL, Lourenção AL, Chiorato AF (2015) Antixenosis of bean genotypes to *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae). **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 50(6):450-458.

Morando R, Baldin ELL, Cruz PL, Lourenção AL (2017) Assessing Common Bean Cultivars for Resistance to the Soybean Looper *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology** 46: 561-570.

Mithofer A, Boland W (2012) Plant defense against herbivores: chemical aspects. **Annual Review of Plant Biology** 63:431-450

Nault BA, ALL JN, Boerma HR (1992) Resistance in vegetative and reproductive stages of a soybean breeding line to three defoliating pests (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology** 85(4):1507-1515.

Parra JRP (1991) Consumo e utilização de alimentos por insetos. In: Panizzi AR, Parra JRP (Ed.). **Ecologia nutricional de insetos e suas implicações no manejo de pragas**. São Paulo: Manole, 1991. p. 9-65.

Pastório MA (2020). **Resistência de genótipos de feijão a *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae)**. 69 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Pereira R; Neves D; Campos J; Santana Júnior P; Hunt T; Picanço M (2018) Natural biological control of *Chrysodeixis includens* **Bulletin of Entomological Research** 108 (6): 831-842.

Pereyra PC, Sanchez NE (2006) Effect of two solanaceous plants on developmental and population parameters of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). **Neotropical Entomology** 35: 671-676.

Poelman EH, Dicke M (2014) Plant-mediated interactions among insects within a community ecological perspective. **Annual Plant Reviews** 47:309-337.

Quintela ED (2009) Manejo Integrado de Pragas do Feijoeiro. In: Kluthcouski J, Stone LF, AIDAR H. (ed.) **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. p. 289-308.

Quintela ED, Barbosa FR (2015) **Manual de identificação de insetos e outros invertebrados pragas do feijoeiro**. 2a. Edição Atualizada. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 91 p. (Embrapa. Documento, 246).

Santos GP, Zanuncio TV, Zanuncio JC (2000) Desenvolvimento de *Thyrinteina arnobia* Stoll (Lepidoptera: Geometridae) em folhas de *Eucalyptus urophylla* e *Psidium guajava*. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil** 29:13-22.

Schlick-Souza EC (2013) **Resistência de genótipos de soja *Glycine max* (L.) a *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae)**. 77 f. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) Unesp Botucatu.

Smith CM (2005) **Plant resistance to arthropods: molecular and conventional approaches**. Dordrecht: Springer, 421 pp.

Smith CM, Clement SL (2012) Molecular bases of plant resistance to arthropods. **Annual Review of Entomology** 57:309-328.

Specht A, Paula-Moraes SV, Sosa-Gómez DR (2015) Host plants of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera, Noctuidae, Plusiinae). **Revista Brasileira de Entomologia** 59: 343–345.

Specht A, Sosa-Gómez DR, Roque-Specht VR, Valduga E, Gonzatti F, Schuh SM, Carneiro E (2019) Biotic Potential and Life Tables of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae), *Rachiplusia nu*, and *Trichoplusia ni* on Soybean and Forage Turnip. **Journal of Insect Science** 19(4):8.

Stout MJ (2013) Reevaluating the conceptual framework for applied research on host plant resistance. **Insect Science** 20: 263-272.

Stout MJ (2020) **Plant-insect interactions, host-plant resistance, and pest management**. In: Kogan, M. and L. Higley (eds.). Integrated management of insect, mite and nematode pests in agriculture - Vol 2: Current and Future Developments in IPM. Burleigh Dodds Science Publishing , Cambridge, UK.

Takabayashi J, Dicke M, Posthumus MA (1994) Volatile herbivore-induced terpenoids in plant-mite interactions: variation caused by biotic and abiotic factors. **Journal of Chemical Ecology** 20:1329-1354.

Tudi M, Daniel Ruan H, Wang L, Lyu J, Sadler R, Connell D, Chu C, Phung DT (2021) Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 18: 1112-1135.

Turlings T, Erb M (2018) Tritrophic Interactions Mediated by Herbivore-Induced Plant Volatiles: Mechanisms, Ecological Relevance, and Application Potential. **Annual Review of Entomology** 63:433-452.

Ulhoa LA (2018). **Influência de semioquímicos emitidos por plantas de arroz no comportamento de *Tibraca limbativentris*, *Glypheidomyces spinosa* (Heteroptera: Pentatomidae) e *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygastridae)**. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Fitossanidade) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás.

Ulhoa LA, Barrigossi JAF, Borges M, Laumann RA, Blassioli-Moraes MC (2020) 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** 168: 76–90.

Vendramim JD, Guzzo EC (2009) Resistência de plantas e a bioecologia e nutrição dos insetos. In: Panizzi AR, Parra JRP (Ed.). **Bioecologia e nutrição dos insetos: bases para o manejo integrado de pragas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. p. 1055-1105.

Ward JHJ (1963) Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American statistical association** 58:236-244.

Xu H, Turlings TCJ (2018) Plant volatiles as mate-finding cues for insects. **Trends in Plant Science** 23:100-111.

### **CAPÍTULO 3 – Resistência induzida em genótipos de feijão à *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae)**

**RESUMO** – O cultivo do feijoeiro possui grande importância socioeconômica no Brasil. Apesar de se destacar no “ranking” mundial de produção, a produtividade brasileira vem sendo afetada pela ocorrência da lagarta, *Chrysodeixis includens*. O controle desse inseto tem sido realizado principalmente através da aplicação de inseticidas químicos. Entretanto, o uso desse método vem causando impactos negativos para a saúde humana, o meio ambiente e os inimigos naturais. Além disso, vem contribuindo para o surgimento de populações de pragas resistentes. Por essas razões, a busca de outros métodos de controle para um manejo integrado de pragas é fundamental. O uso de genótipos resistentes a insetos-praga é uma estratégia promissora, pois as plantas possuem complexos mecanismos de defesa contra os herbívoros, os quais podem ser constitutivos (expressos independente de algum estresse) ou induzidos (expressos quando ocorre estresse). A resistência induzida apresenta vantagem em relação a resistência constitutiva, pois os recursos (custos metabólicos) são utilizados para a defesa da planta apenas quando ocorre o ataque de insetos, com isso economiza recursos para o crescimento e reprodução (produção). Entretanto, a maioria dos estudos para o melhoramento genético de plantas, consideram apenas mecanismos constitutivos, embora possíveis mecanismos induzidos de defesa possam estar envolvidos. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a expressão de possíveis fontes de resistência induzida de doze genótipos comerciais de feijão à *C. includens* (IAC Polaco, IAC 1850, ANFC 9, DAMA, IAC Sintonia (Nova seleção), IAC Sintonia (Antiga seleção), IAC Imperador, BRS Sublime, Pérola, BRS FC 402, BRS Estilo e BRS MG Madre pérola). As características de resistência induzida nos genótipos foram observadas através de testes de preferência alimentar com chance e sem chance de escolha, e índices nutricionais de lagartas de 3º instar de *C. includens*. Os testes foram feitos em plantas não injuriadas e injuriadas por *C. includens*. Analisando os dados, os seguintes genótipos apresentaram resistência induzida: BRS Sublime (antixenose), IAC 1850 (antixenose), Pérola (antixenose e antibiose), IAC Sintonia (Nova seleção) (antixenose e antibiose), BRS FC 402 (antixenose e antibiose) e ANFC 9 (antibiose). Os resultados deste trabalho são importantes para a seleção de genótipos de feijão que possuem respostas de defesa contra a lagarta *C. includens* quando as plantas são injuriadas por coespecíficos. Existem poucos estudos que avaliam a resistência induzida do feijoeiro a insetos-praga. Investigações adicionais devem ser realizadas para identificar os mecanismos responsáveis pela resistência induzida. Buscando aumentar expressão dos genes de defesa ou incorporá-los em programas de melhoramento genético. Além disso, identificar os diferentes compostos químicos que são produzidos pela indução por herbivoria e avaliar a produtividade desses genótipos no campo.

**Palavras-chave:** indução de resistência a insetos, lagarta-falsa-medideira *Phaseolus vulgaris*, resistência de plantas a insetos, resistência induzida

### CHAPTER 3 – Induced resistance of bean genotypes to *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae)

**ABSTRACT** – Bean cultivation has great socioeconomic importance in Brazil. Despite standing out in the world production ranking, Brazilian productivity has been affected by the occurrence of the caterpillar, *Chrysodeixis includens*. The control of this insect has been carried out mainly through the application of chemical insecticides. However, the use of this method has had negative impacts on human health, the environment and natural enemies. In addition, it has contributed to the emergence of resistant pest populations. For these reasons, the search for other control methods for an integrated pest management is essential. The use of insect-pest resistant genotypes is a promising strategy, as plants have complex defense mechanisms against herbivores, which can be constitutive (expressed independently of some stress) or induced (expressed when stress occurs). Induced resistance has an advantage over constitutive resistance, as resources (metabolic costs) are used to defend the plant only when insects attack, thus saving resources for growth and reproduction (production). However, most studies for the genetic improvement of plants only consider constitutive mechanisms, although possible induced defense mechanisms may be involved. In this sense, the objective of this work was to evaluate the expression of possible sources of induced resistance of twelve commercial bean genotypes to *C. includens* (IAC Polaco, IAC 1850, ANFC 9, DAMA, IAC Sintonia (Nova seleção), IAC Sintonia (Antiga seleção), IAC Imperador, BRS Sublime, Pérola, BRS FC 402, BRS Estilo and BRS MG Madre Pérola). The resistance traits induced in the genotypes were observed through tests of free-choice and no-choice food preference, and nutritional indices of 3rd instar caterpillars of *C. includens*. The tests were performed on plants not injured and injured by *C. includens*. Analyzing the data, the following genotypes showed induced resistance: BRS Sublime (antixenosis), IAC 1850 (antixenosis), Pérola (antixenosis and antibiosis), IAC Sintonia (Nova seleção) (antibiosis), BRS FC 402 (antixenosis and antibiosis) and ANFC 9 (antibiosis). The results of this work are important for the selection of bean genotypes that have defense responses against the caterpillar *C. includens* when the plants are injured by conspecifics. There are few studies that evaluate the induced resistance of common bean to insect pests. Additional investigations should be carried out to identify the mechanisms responsible for the induced resistance. Seeking to increase the expression of defense genes or incorporate them into genetic improvement programs. In addition, identify the different chemical compounds that are produced by herbivory induction and evaluate the productivity of these genotypes in the field.

**Keywords:** induction of insect resistance, induced resistance, *Phaseolus vulgaris*, plant insect resistance, the soybean looper

## 1. Introdução

O cultivo do feijão (*Phaseolus vulgaris*) (L.), possui grande importância socioeconômica no mundo e no Brasil. No “ranking” mundial, o Brasil é um dos maiores produtores (FAO, 2022). Considerando as três safras em 2020/21, a produção nacional de feijão foi de 2,88 milhões de toneladas em uma área de 2,92 milhões de hectares, com produtividade média de 984 kg/ha (CONAB, 2021). Esse grão é um alimento muito importante na dieta da população brasileira (DEPEC, 2017), representando também importante fonte de emprego e renda no campo.

Apesar de ser um dos maiores produtores do mundo de feijão, a produtividade brasileira vem sendo afetada negativamente pela presença de diversos insetos-praga, destacando-se a lagarta-falsa-medideira, *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae) (Quintela, 2009; Baldin et al., 2014; Quintela e Barbosa, 2015). Essa lagarta se alimenta do tecido vegetal, sendo que as nervuras centrais e laterais permanecem intactas, com isso as folhas apresentam um aspecto rendilhado (Herzog, 1980; Bueno et al., 2007). Somente uma lagarta pode consumir de 80 a 200 cm<sup>2</sup> de área foliar durante toda a fase larval (Bueno et al., 2011).

O método mais utilizado para seu controle no campo é a aplicação de inseticidas químicos. No entanto, essa praga está adquirindo resistência aos inseticidas e o hábito de se abrigarem abaixo das folhas nos terços médio ou inferior dificulta o contato com os produtos (Bernardi et al., 2012; Baldin et al., 2014; Specht et al., 2015). Além disso, existem vários problemas derivados do uso de inseticidas químicos, principalmente os relacionados à saúde humana (Li, 2018), ao impacto ambiental (Tudi et al., 2021) e aos inimigos naturais (predadores, parasitoides e fungos entomopatogênicos) (Geiger et al., 2010; Pereira et al., 2018), que atuam como agentes de controle biológico no campo (Bueno et al., 2017).

O uso de genótipos resistentes pode ser uma alternativa ao controle químico, pois as plantas possuem complexos e sofisticados mecanismos de defesa contra os herbívoros (Smith e Clement, 2012; Mitchell et al., 2016; Boiça Júnior et al., 2017a, b). Plantas resistentes a insetos apresentam diversas vantagens, entre elas reduzir as populações das pragas, sem causar sérios desequilíbrios nos agroecossistemas. Diminui a aplicação de inseticidas químicos e conseqüentemente abaixa os custos de produção, não acumula resíduos tóxicos nos alimentos e no meio ambiente. Além

disso, a utilização de variedades resistentes é simples (não precisa de muito conhecimento do agricultor) e não interfere na colheita, sem período de carência que é característico dos inseticidas. O uso de resistência de plantas a insetos pode ser incorporado no Manejo Integrado de Pragas, conjuntamente com outras estratégias de controle.

Apesar de muitas vantagens, é importante entender que uma variedade resistente a inseto-praga pode não ser altamente produtiva e não ter resistência a todas as pragas, a fitopatógenos ou estresses abióticos, por isso é importante avaliar outros parâmetros como produtividade e resistência a outros elementos estressores. No desenvolvimento de uma cultivar, o melhoramento para transferir as características genéticas de resistência (cruzamentos) é um processo que demanda tempo. Além disso, em uma lavoura com monocultivo (apenas um genótipo) pode causar desequilíbrio ecológico nos agroecossistemas, influenciando não só as pragas, mas também os inimigos naturais (Smith, 2005; Vendramim e Guzzo, 2009; Boiça Júnior et al., 2013; Mitchell et al., 2016; Baldin et al., 2019).

As plantas ao longo do processo coevolutivo desenvolveram diferentes mecanismos de defesa contra insetos herbívoros, os quais podem ser constitutivos ou induzidos. Mecanismos constitutivos são aqueles que são continuamente expressos e independentes de algum estresse biótico (injúria de insetos) ou abiótico (déficit hídrico), por exemplo. Enquanto, os mecanismos induzidos são mediados por genes de defesa ativados somente quando ocorre algum estresse extrínseco físico e/ou químico (Zakir, 2011; Stout, 2014; Boiça Júnior et al., 2019; Bhavanam e Stout, 2020). Este fenômeno é desencadeado devido a uma cascata de reações bioquímicas, com o reconhecimento de substância elicitoras de defesas presentes nos insetos herbívoros, nos microorganismos patogênicos ou não, ou na própria planta quando esta reconhece injúrias em seus tecidos (Boiça Júnior e Souza, 2019; Karban, 2019). As respostas das plantas ao ataque por herbívoros são geralmente consideradas como benéficas para as plantas (Stout et al., 2009).

A resistência induzida apresenta vantagem em relação a resistência constitutiva, pois os recursos são utilizados para a defesa da planta apenas quando ocorre o ataque de insetos herbívoros (Karbon et al., 1997; Karban, 2011; Züst e Agravam, 2017). Os mecanismos induzidos são características adaptativas, pois a

ativação de defesa das plantas apresenta custos metabólicos para síntese, transporte, armazenamento dos compostos químicos e para enzimas participantes desses processos bioquímicos. As plantas podem utilizar esses custos metabólicos apenas quando estiverem sob algum estresse biótico ou abiótico, com isso economiza recursos para serem alocados em crescimento e reprodução (produção) (Jauhar, 2006; Karasov et al., 2017; Boiça Júnior e Souza, 2019; Karban, 2019).

Porém, a maioria dos estudos em programas de melhoramento genético de plantas a insetos, consideram apenas mecanismos de resistência constitutiva, embora possíveis mecanismos induzidos de defesa possam estar envolvidos (Tamiru et al., 2015). Essas características de defesa podem ocasionar efeitos negativos no comportamento e/ou desenvolvimento dos insetos. No entanto, dependendo do genótipo a resposta induzida pode ter o risco de ser mais lenta por ser um mecanismo mais complexo (Kant et al., 2015). Nos testes de Eduardo (2018), as plantas de soja do genótipo 84 Davis expressaram resistência induzida a *Heliothis virescens* (Fabricius, 1781) (Lepidoptera: Noctuidae) a partir de 36h do ataque desta praga, aumentando a resistência até 200h após do ataque, diminuindo após este período.

Nos mecanismos de defesa constitutivo e induzido a ação sobre o agente agressor pode ser direta ou indireta. A defesa direta pode ser de natureza física ou química (Kessler e Baldwin, 2002). Na defesa morfológica as plantas podem utilizar suas características morfológicas tais como espinhos, pilosidades, tricomas ou mesmo aumentar a deposição de substâncias químicas como cutinas, ceras, suberinas e silicatos nas folhas formando uma “barreira” física. Todas estas características morfológicas têm um efeito negativo direto sobre o inseto agressor impedindo ou evitando a sua atuação na planta (Baldin et al., 2018, 2019). Na defesa química direta as plantas produzem compostos voláteis e não voláteis que podem repelir ou afetar o desenvolvimento dos insetos herbívoros, através da toxicidade ou reduzindo a digestibilidade dos tecidos vegetais, pode ser alcaloides, terpenos, compostos fenólicos, flavonoides, entre outros (Poelman e Dicke, 2014; Eduardo et al., 2016; Ulhoa et al., 2020). Como exemplo de compostos que reduzem a digestibilidade podemos citar a produção de inibidores de protease que inibem as enzimas digestivas dos insetos. A atuação dos inibidores de protease provoca uma deficiência de aminoácidos que vão influenciar diretamente o crescimento e

desenvolvimento do inseto. As enzimas polifenol oxidases são geralmente encontradas em tecidos vegetais infectados e são consideradas como enzimas antinutritivas, pois diminuem o valor nutritivo de plantas danificadas por herbivoria. Estas enzimas catalisam a hidroxilação de monofenóis, presentes nos ferimentos, para difenóis e posterior oxidação destes para quinonas. As quinonas têm ação antimicrobiana e os polímeros podem atuar como taninos (reduzem a digestibilidade), formando complexos com proteínas (Nguyen et al., 2016a; Ulhoa, 2018). As defesas indiretas agem principalmente atraindo os inimigos naturais dos insetos herbívoros (parasitoides e/ou predadores) com as plantas normalmente produzindo compostos voláteis (no geral, são terpenóides e compostos aromáticos) que são sinais que ajudam os inimigos naturais a localizarem seus hospedeiros ou presas (Turlings e Erb, 2018; Magalhães et al., 2019; Ulhoa et al., 2020).

A composição dos compostos voláteis ou não voláteis liberados na ativação da defesa depende de características intrínsecas (genótipo da planta, idade da folha/posição foliar, a estrutura vegetal e a idade da planta/estádio fenológico) e extrínsecas (substâncias indutoras presentes na saliva dos insetos herbívoros, aparelho bucal do inseto, tipo de dano que a planta sofre, espécie do inseto e fluidos de oviposição) (De Moraes et al., 1998; Smith, 2005; Hare, 2011; Hilker e Meiners, 2011; Reymond et al., 2013; Hilker et al., 2016; Freitas et al., 2017; Magalhães et al., 2018; Michereff et al., 2018; Ulhoa et al., 2020).

Os principais reguladores das respostas de defesa induzida são os fitohormônios: ácido jasmônico, ácido salicílico e etileno. A injúria dos insetos ao se alimentarem das folhas ou outros órgãos vegetais leva a produção destes hormônios que ativam cadeias de genes que sinalizam os sistemas de defesa da planta. Dependendo do estressor esses fitohormônios podem agir isoladamente, sinergicamente ou serem antagônicos (War et al., 2012). Além dos elicitores naturais, os sintéticos também podem desencadear essas respostas. Por exemplo, Stout et al. (2009) e Gordy et al. (2015) mostraram que aplicações exógenas de ácido jasmônico (JA) em arroz, algodão e soja induziram à resistência à lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). No estudo de Chen et al. (2018), a aplicação de Metil jasmonato (MEJA) no campo induziu a resistência de

soja a *Anticarsia gemmatalis* (Hübner, 1818) (Lepidoptera: Erebidae), reduziu o peso das pupas em 6,8% e atrasou o desenvolvimento larval em 14,3%.

A indução das defesas da planta é iniciada quando receptores específicos detectam a presença de padrões moleculares associados a herbívoros (HAMPs) ou padrões moleculares associados a danos (DAMPs) consequência da lesão de herbívoros (Santamaria et al., 2020). Os insetos de hábito alimentar mastigador (lagartas) desencadeiam vias de sinalização envolvendo o ácido jasmônico como sinalizador dos genes de defesa. Esse fitohormônio é sintetizado pela via octadecanoide e tem como precursor o ácido linolênico que é liberado de lipídeos de membrana dos cloroplastos pela ação de fosfolipases. O ácido linolênico sofre ação de lipoxigenases e após uma cascata de reações, formam os jasmonatos, metil jasmonato, incluindo ácido jasmônico e seus derivados. O ácido jasmônico pode atuar codificando diversos genes, como os que inibem as enzimas proteinases e os que produzem compostos foliares que interfere negativamente no desenvolvimento do inseto herbívoro (Wasternack, 2007; Wasternack e Hause, 2013; Stahl et al., 2018; Erb e Reymond, 2019). Os insetos de hábito alimentar sugador (percevejos, cigarrinhas, pulgões) induzem a produção de ácido jasmônico que desencadeiam outros mecanismos de defesa na planta (Smith & Boyko, 2007; Michereff et al., 2011, Ulhoa et al., 2020).

A resistência de plantas a insetos é classificada em três tipos: antixenose, antibiose e tolerância (Smith, 2005; Stout, 2013; Boiça Júnior et al., 2018; Baldin et al., 2019; Boiça Júnior et al., 2019). A antixenose é quando o inseto evita a planta para alimentação, abrigo e oviposição, geralmente é causado por características físicas da planta ou por compostos voláteis liberados por ela (Baldin et al., 2018; Baldin et al., 2019; Ulhoa et al., 2020). A resistência do tipo antibiose afeta negativamente a biologia dos insetos devido a características da planta que atuam após a ingestão pelo inseto, diminuindo o potencial reprodutivo, devido a fatores como: mortalidade elevada da fase imatura, baixa emergência de adultos, redução no tamanho e peso dos indivíduos, além de alterações na longevidade, oviposição, mortalidade, fecundidade e alongamento de ciclo. As causas da antibiose estão relacionadas principalmente à presença de compostos químicos das plantas. A tolerância ocorre quando um genótipo é menos danificado que os demais em condições iguais de infestação pelos

herbívoros, sem que haja efeito no comportamento ou na biologia desses. 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 (Boiça Júnior et al., 2012; Baldin et al., 2018; Boiça Júnior et al., 2018; Baldin et al., 2019; Stout, 2020).

Esse trabalho é uma continuação do capítulo 2, onde foi avaliada a resistência constitutiva de genótipos comerciais de feijão à *C. includens*. Poucos estudos examinaram a resistência constitutiva e induzida em culturas cultivadas, apesar do potencial de ambos os modos de resistência para reduzir os danos causados por pragas (Srinivas et al., 2021). Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi verificar possíveis fontes de resistência induzida de doze genótipos comerciais de feijoeiro à *C. includens* através de testes de preferência alimentar e índice nutricional.

## **2. Material e métodos**

### **2.1. Condições experimentais**

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação e no Laboratório de Resistência de Plantas a Insetos da Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV), Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Todos os ensaios em laboratório foram conduzidos em sala climatizada com temperatura de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , umidade relativa de  $70 \pm 10\%$  e fotoperíodo de 12L: 12E.

### **2.2. Plantas**

Visando dar continuidade ao trabalho do capítulo 2 (resistência constitutiva), foram avaliados os mesmos genótipos comerciais de feijão: IAC Polaco, IAC 1850, ANFC 9, DAMA, IAC Sintonia (Nova seleção), IAC Sintonia (Antiga seleção), IAC Imperador, BRS Sublime, Pérola, BRS FC 402, BRS Estilo e BRS MG Madre pérola, buscando a possibilidade de ocorrência de fontes de resistência induzida. Esses materiais foram escolhidos pois são comercializados no Brasil e fazem parte do banco de germoplasma ativo do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Além disso, não possuem trabalhos na literatura buscando fontes de resistência induzida desses genótipos a *C. includens*.

As plantas de feijão foram cultivadas em vasos de polietileno de 5 L de volume contendo solo (Latosolo Vermelho Distrófico), areia e esterco bovino curtido, na proporção de 3:1:1. Os vasos com as plantas de feijão foram mantidos em casa de vegetação vedada com tela antiafídica até sua utilização nos ensaios, para evitar contato com insetos herbívoros e inimigos naturais de *C. includens* (predadores e/ou parasitoides). A irrigação das plantas nos vasos foi realizada a cada 2 dias de forma manual usando uma mangueira.

### 2.3. Insetos

Os insetos utilizados nos experimentos foram provenientes de uma criação mantida no Laboratório de Resistência de Plantas a Insetos da UNESP/FCAV, Jaboticabal, SP. Esta criação de *C. includens* foi iniciada a partir de ovos provenientes de uma linhagem mantida em dieta artificial (Greene et al., 1976) do Laboratório de Biologia de Insetos da Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (USP/ESALQ), Piracicaba, São Paulo, Brasil.

Os insetos foram mantidos e criados em sala climatizada com temperatura de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , umidade relativa de  $70 \pm 10\%$  e fotoperíodo de 12L: 12E. As lagartas de terceiro instar foram individualizadas em recipientes plásticos com 4,5 cm de diâmetro e 5 cm de altura (Potes Copaza<sup>®</sup>), contendo dieta artificial ao fundo (Greene et al., 1976).

Quando os insetos atingiram o estágio de pupa, foram transferidos para caixas do tipo gerbox (comprimento de 11 cm, largura de 11 cm e altura de 3,5 cm) forradas com papel filtro ao fundo até a emergência dos adultos. Após a emergência dos adultos, casais de *C. includens* foram transferidos para gaiolas confeccionadas a partir de um tubo de PVC com dimensões de 19,5 cm de diâmetro e 19,5 cm de altura, coberta por tecido "voile" e revestida internamente com papel sulfite como substrato de oviposição. No fundo da gaiola foi colocado um prato plástico de 22 cm de diâmetro revestido com papel sulfite. Para a alimentação dos adultos utilizou-se uma solução de mel a 10% embebida em um pedaço de algodão acondicionado dentro frascos de vidro de 4,5 cm de diâmetro por 4,0 cm de altura. As gaiolas foram colocadas em estantes.

Após a oviposição, os ovos contidos no tecido “voile” e papel sulfite foram retirados e transferidos para recipientes plásticos de 12 cm de diâmetro e 15 cm de altura (Potes Copaza®) contendo dieta artificial (Greene et al., 1976) ao fundo para a permanência das lagartas recém-eclodidas. Após atingir o terceiro ínstar, as lagartas foram transferidas e individualizadas com o auxílio de um pincel fino umedecido para potes plásticos de 100 mL (4,5 cm de diâmetro e 5 cm de altura) contendo a mesma dieta artificial, como previamente descrito.

#### **2.4. Infestação de *Chrysodeixis includens* em plantas de feijão**

Plantas de cada genótipo com 25 dias foram cultivadas individualmente em vasos de polietileno de 5 L de volume, selecionadas ao acaso e atribuídas à dois grupos: plantas injuriadas por lagartas de *C. includens* e plantas não injuriadas. No primeiro grupo, dez plantas de cada genótipo foram infestadas com duas lagartas de quarto ínstar de *C. includens* no segundo trifólio a partir da base das plantas, confinadas em gaiolas confeccionadas em tecido “voile” (10 x 15 cm) presa ao pecíolo com um clipe plástico. As lagartas foram privadas de alimentação cerca de 4 horas antes de serem confinadas nas gaiolas para assegurar que consumam a quantidade esperada de tecido foliar dentro do tempo previsto. Após o confinamento, as lagartas permaneceram nas plantas durante cerca de 24 horas ou até que tenham consumido pelo menos 50% de todo o trifólio onde foram confinadas, e em seguida, tanto as lagartas quanto as gaiolas foram retirados das plantas. No segundo grupo, dez plantas de cada genótipo tiveram o segundo trifólio a partir da base das plantas coberto apenas com gaiolas de tecido “voile”, sem a presença das lagartas. Os grupos permaneceram distantes um do outro para evitar o “efeito da planta vizinha” que é quando uma planta induz os mecanismos de defesa da planta vizinha, através de compostos voláteis (Erb et al., 2015).

Após três dias da remoção das lagartas das plantas, os dois folíolos simétricos do primeiro trifólio a partir da base da planta foram retirados, acondicionados em sacos plásticos identificados, e levados ao Laboratório de Resistência de Plantas a Insetos para a realização dos experimentos de preferência alimentar e índice nutricional. Para a condução dos experimentos com o objetivo de verificar possíveis fontes de

resistência induzida a *C. includens*, foi usado discos foliares com diâmetro de 3,0 cm como substrato alimentar.

## **2.5. Preferência alimentar de *Chrysodeixis includens***

Folíolos laterais do primeiro trifólio a partir da base de plantas previamente infestadas ou não infestadas por *C. includens* (descrito no item anterior) foram utilizados em testes com e sem chance de escolha para determinar a preferência alimentar de lagartas *C. includens* em genótipos de feijão injuriados ou não. Para a condução deste experimento, dez plantas de cada genótipo infestadas ou não por *C. includens* foram utilizadas. Dos dois folíolos laterais coletados de cada planta, um foi utilizado no teste sem chance de escolha e o outro no teste com chance. Dos folíolos centrais coletados, cinco de cada tratamento foram utilizados como alíquotas no cálculo dos índices nutricionais. Após a coleta, as estruturas foram levadas ao laboratório, enxaguadas em água corrente, e em seguida secas em papel toalha à temperatura ambiente. Os discos foliares cortados a partir dos folíolos coletados foram preparados com o auxílio de um vazador metálico de 3,0 cm de diâmetro, representando uma área foliar de 7,07 cm<sup>2</sup>.

No teste com dupla chance de escolha, um disco foliar proveniente de plantas não injuriadas e um disco foliar proveniente de plantas injuriadas de cada genótipo foram confrontados. Os discos foliares foram distribuídos em placas de Petri de 9 cm de diâmetro forradas com papel filtro umedecido com água deionizada, e duas lagartas de terceiro ínstar de *C. includens* foram liberadas no centro da placa com auxílio de um pincel fino. A movimentação larval foi observada através da contagem do número de lagartas presentes em cada tratamento após 5, 15, 30 minutos e 1, 3, 6, 12 horas do início do experimento. O experimento foi finalizado após 24 horas ou quando cerca de 80% do disco foliar de um dos tratamentos foi consumido. A área foliar consumida pelas lagartas foi avaliada através da porcentagem de injúria determinada por imagens capturadas das folhas e analisadas no software ImageJ.

No teste sem chance de escolha, discos foliares de cada genótipo com e sem injúria foram individualizados em placas de Petri de 9 cm de diâmetro forrada com papel filtro umedecido com água deionizada. Em seguida, duas lagartas de terceiro ínstar foram liberadas em cada placa.

## 2.6. Índices nutricionais de *Chrysodeixis includens*

Discos foliares provenientes do primeiro trifólio de cada planta, coletados e preparados conforme o item anterior, foram transferidos para potes de polietileno com dimensões de 6 cm de diâmetro e 5 cm de altura contendo papel filtro umedecido com água deionizada. Dos folíolos coletados em cada tratamento, dez foram oferecidos às lagartas de *C. includens* para avaliação dos índices nutricionais e cinco foram utilizados como amostras adicionais, pesados em balança analítica de precisão (Ohaus®, Parsippany, NJ, EUA), e mantidos nas mesmas condições dos tratamentos para posteriormente serem utilizadas como alíquotas do peso seco inicial para o cálculo do peso seco consumido dos índices nutricionais.

Posteriormente, lagartas de terceiro ínstar de *C. includens* foram coletadas da criação de manutenção, privadas de alimentação por 6 h para limparem o trato intestinal, e pesadas em balança analítica de precisão. Em seguida, as lagartas foram transferidas individualmente com o auxílio de um pincel fino para as placas de Petri, onde permaneceram se alimentando por durante 48 horas ou até que um dos discos foliares tenha sido consumido em 80%. Os experimentos foram realizados em uma sala climatizada com as condições ambientais de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  de temperatura,  $70 \pm 10\%$  de umidade relativa, e 12C:12E h de fotoperíodo.

Após o término do experimento, as lagartas, as fezes, sobra do alimento oferecido, e os folíolos separados como alíquotas foram secos em estufa (Odontobrás®, modelo EL 1.4, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil) a  $60^\circ\text{C}$  por 48 h até atingirem peso constante, e pesados em balança analítica de precisão (0,0001 g). Esses valores baseados no peso seco foram utilizados para o cálculo dos seguintes índices nutricionais, segundo metodologia estabelecida por Waldbauer (1968): taxa de consumo relativo ( $\text{RCR} = I/\text{Bm} \times T$ ; g/g/dia); taxa metabólica relativa ( $\text{RMR} = M/\text{Bm} \times T$ ; g/g/dia); taxa de crescimento relativo ( $\text{RGR} = B/\text{Bm} \times T$ ; g/g/dia); eficiência de conversão do alimento ingerido ( $\text{ECI} = [B/I] \times 100$ ; %). Onde: T = período de alimentação (dias); B = ganho de peso larval durante T; Bm = peso larval médio durante T; I = peso do alimento ingerido (mg) durante T; F = peso das fezes produzidas durante T; M = (I-F) - B = alimento metabolizado durante T. O experimento foi

conduzido em delineamento inteiramente casualizado, avaliando os 12 cultivares de feijão e 10 repetições, sendo cada repetição composta por uma lagarta.

## 2.7. Análise de dados

Os dados de área foliar consumida (preferência alimentar) e índices nutricionais foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias, pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene, respectivamente. Em seguida foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e Teste F. Quando significativo, as médias da preferência alimentar e índices nutricionais dos genótipos injuriados e não injuriados foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) através do software estatístico SAS® versão 9.4. No teste de preferência alimentar (com dupla chance de escolha) o delineamento foi em blocos ao acaso em esquema fatorial 12 x 2, correspondendo aos efeitos principais de genótipo e injúria, respectivamente, totalizando 24 tratamentos com 10 repetições, sendo cada repetição representada por uma placa de petri contendo o confronto de planta injuriada (PI) e planta não injuriada (PNI). No teste sem chance de escolha, o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 12 x 2 (Genótipo x Injúria), totalizando 24 tratamentos com 10 repetições, sendo cada unidade experimental constituída por uma placa de Petri contendo cada tratamento individualizado.

Os índices de atratividade (IA) foram calculados pela fórmula:  $IA = 2C/(C+S)$  (Kogan e Goeden, 1970), onde S = número de lagartas presentes em plantas não injuriadas do genótipo, determinado como padrão de suscetibilidade; C = número de lagartas presentes em plantas injuriadas do genótipo. Valores de IA > 1,00 indicam a preferência das lagartas por plantas injuriadas em cada genótipo; valores de IA < 1,00 indicam a preferência das lagartas por plantas não injuriadas em cada genótipo; valores de IA = 1,00 indicam neutralidade de preferência das lagartas por plantas não injuriadas e injuriadas de cada genótipo. Para os cálculos, foi observada após 5, 15, 30 minutos, 1, 3, 6, 12 horas do início do experimento, a média de lagartas presentes em cada genótipo.

### 3. Resultados

#### 3.1. Preferência alimentar de *Chrysodeixis includens*

De acordo com o índice de atratividade, diferenças de preferência alimentar de *C. includens* foram observadas entre as plantas não injuriadas (PNI) e as plantas injuriadas (PI) por lagartas conspecíficas (mesma espécie) nos genótipos avaliados (Figura 1). No teste com dupla chance de escolha, as PI dos genótipos IAC Polaco, IAC 1850, BRS Sublime, Pérola, BRS FC 402 e BRS MG Madrepérola demonstraram deterrência a *C. includens* em relação as PNI (Figura 1a). No teste sem chance de escolha as PI dos genótipos IAC 1850, IAC Sintonia (Nova seleção), BRS Sublime e Pérola demonstraram deterrência em relação as PNI (Figura 1b). Os materiais IAC 1850, BRS Sublime e Pérola, demonstraram nos dois testes (com e sem chance de escolha), que possuem mecanismos de resistência induzida (antixenose), ou seja a planta responde ao ataque da lagarta *C. includens*. Apesar de que nos genótipos DAMA (com e sem chance de escolha) e IAC Imperador (sem chance de escolha) as lagartas foram menos atraídas (deterrentes) pelas PI, os índices de atratividade foram próximos de 1,00. Sugerindo neutralidade de preferência em relação às PNI (Figura 1).

Por outro lado, no teste com dupla chance de escolha nas PI dos genótipos ANFC9, IAC Sintonia (Antiga seleção), IAC Imperador e BRS Estilo as lagartas foram mais atraídas do que nas PNI (Figura 1a). No teste sem chance de escolha as PI dos genótipos ANFC9, IAC Sintonia (Antiga seleção), BRS FC402, BRS Estilo e BRS MG Madre pérola foram mais estimulantes do que as PNI (Figura 1b). Considerando os testes com e sem chance de escolha nos genótipos ANFC9, IAC Sintonia (Antiga seleção) e BRS Estilo as plantas infestadas com *C. includens* foram mais atrativas do que as PNI para as lagartas da mesma espécie. Sugerindo que as plantas atacadas de alguns genótipos também podem ser estimulantes, ou seja possuem uma resposta oposta a antixenose (Figura 1).

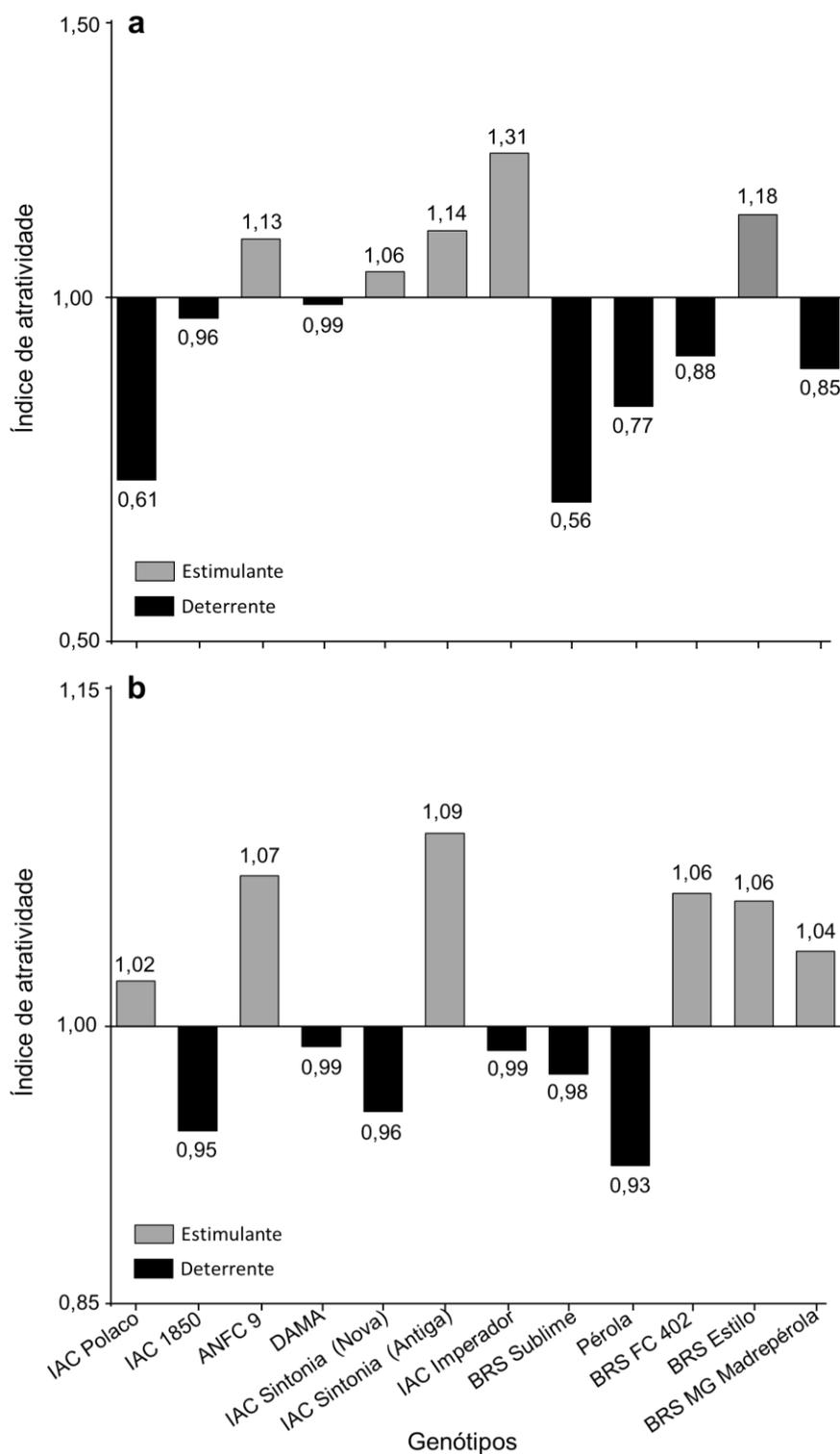


Figura 1. Índice de atratividade de lagartas de *Chrysodeixis includens* em genótipos de feijão infestados com o mesmo inseto (injuriosos) em teste com dupla chance (a) e sem chance de escolha (b).

Em relação a área foliar consumida, no teste com dupla chance de escolha houve diferença significativa no consumo de *C. includens* entre os genótipos nas PNI

( $F = 2,18$ ;  $p = 0,0211$ ). Nos genótipos Pérola e ANFC 9 ocorreu o menor consumo foliar em relação ao genótipo BRS Sublime, enquanto os outros genótipos não diferiram significativamente entre si. Nas PI não houve diferença estatística entre os doze genótipos. Na comparação entre PI e PNI no mesmo genótipo, houve diferença estatística apenas no genótipo BRS Sublime ( $F = 35,34$ ;  $p = 0,00020$ ). Nos discos foliares de BRS Sublime originados de plantas sem injúria houve um consumo consideravelmente maior ( $2,83 \text{ cm}^2$ ) em relação aos discos foliares de plantas com injúria ( $0,65 \text{ cm}^2$ ).

No teste sem chance de escolha, também houve diferença significativa no consumo de *C. includens* entre os genótipos nas PNI ( $F = 2,59$ ;  $p = 0,0059$ ). Entre as PNI, o genótipo IAC Polaco foi menos consumido, enquanto o maior consumo foi observado no genótipo IAC Imperador. Não foi observado diferença significativa na desfolha entre os genótipos com PI. Houve diferença significativa no consumo foliar de *C. includens* nos genótipos IAC Sintonia (Nova seleção) ( $F = 4,86$ ;  $p = 0,0415$ ) e BRS FC 402 ( $F = 5,16$ ;  $p = 0,037$ ) quando previamente injuriados, em relação às PNI. Em IAC Sintonia (Nova seleção) nas PNI o consumo foi de  $1,79 \text{ cm}^2$  e nas PI foi de  $1,22 \text{ cm}^2$  de área foliar. Nos discos foliares de BRS FC 402 de PNI houve um consumo foliar de  $2,52 \text{ cm}^2$  e de PI de  $1,22 \text{ cm}^2$  (Tabela 1).

Tabela 1. Área foliar consumida ( $\text{cm}^2 \pm \text{EP}$ ) por lagartas de *Chrysodeixis includens* em plantas não injuriadas e previamente injuriadas de genótipos de feijão em testes de preferência alimentar com dupla chance e sem chance de escolha.

Genótipos	Dupla chance de escolha		Sem chance de escolha	
	Não injuriado	Injuriado	Não injuriado	Injuriado
IAC Polaco	$1,64 \pm 0,42 \text{ abA}$	$0,82 \pm 0,23 \text{ aA}$	$1,15 \pm 0,14 \text{ bA}$	$1,44 \pm 0,28 \text{ aA}$
IAC 1850	$2,26 \pm 0,56 \text{ abA}$	$1,38 \pm 0,42 \text{ aA}$	$1,31 \pm 0,29 \text{ abA}$	$1,37 \pm 0,31 \text{ aA}$
ANFC 9	$0,90 \pm 0,26 \text{ bA}$	$1,39 \pm 0,39 \text{ aA}$	$1,26 \pm 0,29 \text{ abA}$	$0,96 \pm 0,12 \text{ aA}$
DAMA	$1,86 \pm 0,19 \text{ abA}$	$1,28 \pm 0,37 \text{ aA}$	$1,73 \pm 0,35 \text{ abA}$	$1,34 \pm 0,31 \text{ aA}$
IAC Sintonia (Nova)	$1,78 \pm 0,19 \text{ abA}$	$1,40 \pm 0,40 \text{ aA}$	$1,79 \pm 0,21 \text{ abA}$	$1,22 \pm 0,14 \text{ aB}$
IAC Sintonia (Antiga)	$1,30 \pm 0,26 \text{ abA}$	$1,41 \pm 0,31 \text{ aA}$	$1,61 \pm 0,31 \text{ abA}$	$1,16 \pm 0,19 \text{ aA}$
IAC Imperador	$1,21 \pm 0,47 \text{ abA}$	$1,87 \pm 0,33 \text{ aA}$	$2,67 \pm 0,33 \text{ aA}$	$1,90 \pm 0,23 \text{ aA}$
BRS Sublime	$2,83 \pm 0,34 \text{ aA}$	$0,65 \pm 0,18 \text{ aB}$	$1,59 \pm 0,25 \text{ abA}$	$1,07 \pm 0,32 \text{ aA}$
Pérola	$0,78 \pm 0,26 \text{ bA}$	$0,99 \pm 0,25 \text{ aA}$	$2,25 \pm 0,35 \text{ abA}$	$1,58 \pm 0,35 \text{ aA}$
BRS FC 402	$1,56 \pm 0,41 \text{ abA}$	$0,92 \pm 0,29 \text{ aA}$	$2,52 \pm 0,46 \text{ abA}$	$1,22 \pm 0,33 \text{ aB}$
BRS Estilo	$2,26 \pm 0,65 \text{ abA}$	$1,80 \pm 0,56 \text{ aA}$	$1,79 \pm 0,34 \text{ abA}$	$1,65 \pm 0,38 \text{ aA}$
BRS MGMadrepérola	$1,41 \pm 0,39 \text{ abA}$	$1,55 \pm 0,30 \text{ aA}$	$2,07 \pm 0,22 \text{ abA}$	$1,58 \pm 0,33 \text{ aA}$

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna e maiúscula na linha diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### 3.2. Índices nutricionais de *Chrysodeixis includens*

O efeito dos diferentes genótipos e injúria prévia influenciou o desenvolvimento de *C. includens*. Na taxa de consumo relativo (RCR) dessa lagarta, houve diferença estatística entre os genótipos em PI ( $F = 4,91$ ;  $p < 0,0001$ ) e PNI ( $F = 7,81$ ;  $p > 0,0001$ ). Nas PNI o material IAC Sintonia (Nova seleção) apresentou a maior (3,62) e BRS Sublime a menor (0,21) taxa de consumo relativo (RCR). Nas PI o genótipo BRS MG Madrepérola apresentou a maior (2,99) e os genótipos ANFC 9 (0,52) e BRS Sublime (0,06) as menores RCR das lagartas. Comparando o mesmo genótipo com PI x PNI, houve diferença no RCR de *C. includens* nos genótipos ANFC ( $F = 6,24$ ;  $p = 0,0230$ ), IAC Sintonia (Nova seleção) ( $F = 13,32$ ;  $p = 0,0022$ ), BRS FC 402 ( $F = 13,15$ ,  $p = 0,0019$ ) e BRS Estilo ( $F = 4,49$ ;  $p = 0,0482$ ) (Tabela 2).

Na taxa de crescimento relativo (RGR) houve diferença significativa entre os genótipos somente em plantas não injuriadas ( $F = 3,13$ ;  $p = 0,0011$ ). Nos genótipos IAC Imperador (0,53), Pérola (0,45) e IAC Sintonia (Nova seleção) (0,44) os insetos tiveram as maiores RGR. Em contraste, no material IAC 1850 a taxa de crescimento relativo foi a menor (0,15), os demais genótipos não diferiram significativamente entre si. Na comparação PI x PNI no mesmo genótipo, somente o Pérola foi observado diferença significativa ( $F = 6,35$ ;  $p = 0,0221$ ) (Tabela 2).

No parâmetro RMR (Taxa metabólica relativa), houve diferença estatística entre os genótipos nas PI ( $F = 3,65$ ;  $p = 0,0002$ ) e PNI ( $F = 5,06$ ;  $p > 0,0001$ ). Nas PNI o material IAC Sintonia (Nova seleção) apresentou significativamente a maior RMR (2,21), o restante dos materiais com menores índices não diferiram. Nas PI o genótipo BRS MG Madrepérola apresentou a maior (2,20) e os genótipos ANFC 9 (0,04), DAMA (0,27), BRS Sublime (0,00) e BRS FC 402 (0,10) as menores taxas metabólicas relativa. Na comparação PI x PNI no mesmo genótipo, houve diferença no RMR nos genótipos ANFC 9 ( $F = 5,03$ ;  $p = 0,0385$ ), IAC Sintonia (Nova seleção) ( $F = 5,50$ ;  $p = 0,0322$ ), BRS FC 402 ( $F = 6,80$ ;  $p = 0,0178$ ) e BRS MG Madrepérola ( $F = 5,15$ ;  $p = 0,0365$ ) (Tabela 3).

Na eficiência ECI (Eficiência de conversão do alimento ingerido) houve diferença estatística entre os genótipos em PI ( $F = 2,45$ ;  $p = 0,01$ ) e PNI ( $F = 2,28$ ;  $p = 0,0158$ ). Nas PNI o material IAC Imperador apresentou a maior ECI com 32,33%. Em contrapartida, as lagartas alimentadas com as folhas de BRS Sublime tiveram a

menor ECI, com somente 2,91%. Nas PI dos genótipos DAMA (33,14 %), e IAC Imperador (41,91%) foi observado as maiores ECI e o genótipo BRS Sublime a menor, com 0% de eficiência de conversão do alimento. Comparando o mesmo genótipo com PI x PNI, não houve diferença entre os genótipos (Tabela 3).

Tabela 2. Índices nutricionais (RCR e RGR) ( $\text{g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1} \pm \text{EP}$ ) de lagartas de *Chrysodeixis includens* alimentadas em plantas não injuriadas e previamente injuriadas de genótipos de feijão.

Genótipos	RCR		Média	RGR		Média
	Não injuriado	Injuriado		Não injuriado	Injuriado	
IAC Polaco	1,06 ± 0,36 bcA	1,59 ± 0,19 abcdA	1,34 ± 0,20 bcd	0,27 ± 0,06 abA	0,21 ± 0,05 aA	0,24 ± 0,04 bc
IAC 1850	1,00 ± 0,25 bcA	1,73 ± 0,43 abcdA	1,35 ± 0,25 bcd	0,15 ± 0,05 bA	0,23 ± 0,07 aA	0,19 ± 0,04 c
ANFC 9	1,36 ± 0,26 bcA	0,52 ± 0,21 dB	0,97 ± 0,19 cd	0,28 ± 0,06 abA	0,27 ± 0,08 aA	0,27 ± 0,05 abc
DAMA	1,20 ± 0,31 bcA	1,20 ± 0,30 abcdA	1,20 ± 0,21 bcd	0,38 ± 0,07 abA	0,42 ± 0,07 aA	0,40 ± 0,05 ab
IAC Sintonia (Nova)	3,62 ± 0,28 aA	1,82 ± 0,41 abcdB	3,05 ± 0,45 a	0,44 ± 0,03 aA	0,38 ± 0,03 aA	0,41 ± 0,02 ab
IAC Sintonia (Antiga)	1,63 ± 0,30 bA	2,39 ± 0,23 abcA	2,01 ± 0,20 abc	0,36 ± 0,07 abA	0,33 ± 0,04 aA	0,35 ± 0,04 abc
IAC Imperador	1,84 ± 0,20 bA	1,16 ± 0,28 bcdA	1,50 ± 0,19 c	0,53 ± 0,02 aA	0,41 ± 0,04 aA	0,47 ± 0,02 a
BRS Sublime	0,21 ± 0,16 cA	0,06 ± 0,04 dA	0,14 ± 0,09 d	0,41 ± 0,07 abA	0,20 ± 0,07 aA	0,31 ± 0,05 abc
Pérola	1,81 ± 0,41 bA	1,52 ± 0,34 abcdA	1,67 ± 0,27 bc	0,45 ± 0,04 aA	0,25 ± 0,07 aB	0,35 ± 0,05 abc
BRS FC 402	2,42 ± 0,42 abA	0,68 ± 0,22 cdB	1,55 ± 0,31 bc	0,34 ± 0,06 abA	0,31 ± 0,08 aA	0,32 ± 0,05 abc
BRS Estilo	1,02 ± 0,27 bcB	2,58 ± 0,29 abA	1,46 ± 0,22 bc	0,41 ± 0,06 abA	0,37 ± 0,07 aA	0,39 ± 0,04 abc
BRS MG Madrepérola	1,59 ± 0,26 bcA	2,99 ± 0,67 aA	2,25 ± 0,37 ab	0,41 ± 0,05 abA	0,44 ± 0,09 aA	0,43 ± 0,05 ab
Média	1,62 ± 0,13 A	1,48 ± 0,12 A	-	0,37 ± 0,02 A	0,32 ± 0,02 A	-

RCR - Taxa de consumo relativo; RGR - Taxa de crescimento relativo. Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna ou maiúsculas na linha diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Tabela 3. Índices nutricionais (RMR e ECI) ( $\text{g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1} \pm \text{EP}$ ) de lagartas de *Chrysodeixis includens* alimentadas em plantas não injuriadas e previamente injuriadas de genótipos de feijão.

Genótipos	RMR		Média	ECI (%)		Média
	Não injuriado	Injuriado		Não injuriado	Injuriado	
IAC Polaco	0,40 ± 0,28 bA	0,80 ± 0,16 abA	0,61 ± 0,16 abcd	29,80 ± 11,81 abA	17,25 ± 5,15 abA	22,47 ± 6,73 abc
IAC 1850	0,20 ± 0,07 bA	0,79 ± 0,31 abA	0,48 ± 0,16 bcd	10,28 ± 6,17 abA	10,71 ± 3,27 abA	10,48 ± 3,50 bc
ANFC 9	0,48 ± 0,18 bA	0,04 ± 0,03 bB	0,27 ± 0,11 cd	19,61 ± 6,19 abA	14,19 ± 7,27 abA	17,24 ± 4,61 abc
DAMA	0,47 ± 0,19 bA	0,27 ± 0,16 bA	0,37 ± 0,13 bcd	18,94 ± 5,57 abA	33,14 ± 9,22 aA	25,62 ± 5,37 ab
IAC Sintonia (Nova)	2,21 ± 0,37 aA	1,01 ± 0,35 abB	1,61 ± 0,29 abcd	12,53 ± 1,88 abA	23,47 ± 7,99 abA	17,71 ± 4,00 abc
IAC Sintonia (Antiga)	0,75 ± 0,35 bA	1,58 ± 0,25 abA	1,16 ± 0,23 abc	24,22 ± 5,51 abA	15,28 ± 2,69 abA	19,52 ± 3,07 abc
IAC Imperador	0,70 ± 0,20 bA	0,45 ± 0,28 abA	0,58 ± 0,17 abcd	32,33 ± 3,98 aA	41,91 ± 8,47 aA	36,59 ± 4,37 a
BRS Sublime	0,09 ± 0,08 bA	0,00 ± 0,00 bA	0,05 ± 0,05 d	2,91 ± 2,91 bA	0,00 ± 0,00b abA	1,66 ± 1,66 c
Pérola	0,83 ± 0,34 bA	0,70 ± 0,32 abA	0,77 ± 0,23 abcd	22,83 ± 5,08 abA	17,19 ± 5,20 abA	20,00 ± 3,59 abc
BRS FC 402	0,95 ± 0,32 bA	0,10 ± 0,06 bB	0,53 ± 0,19 abcd	12,60 ± 2,01 abA	30,71 ± 10,61 abA	21,66 ± 5,65 abc
BRS Estilo	0,19 ± 0,08 bA	1,76 ± 0,79 abA	0,97 ± 0,43 abcd	29,09 ± 6,53 abA	22,79 ± 5,06 abA	25,78 ± 4,03 ab
BRS MG Madrepérola	0,69 ± 0,16 bB	2,20 ± 0,67 aA	1,41 ± 0,37 ab	25,16 ± 6,55 abA	15,42 ± 5,98 abA	20,83 ± 4,53 abc
Média	0,82 ± 0,12 A	0,66 ± 0,082 A	-	20,11 ± 1,79 A	20,63 ± 2,08 A	-

RMR – Taxa metabólica relativa; ECI - Eficiência de conversão do alimento ingerido. Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4. Discussão

Os resultados desse trabalho demonstraram que plantas injuriadas (PI) por *C. includens* e não injuriadas (PNI) de alguns genótipos de feijão influenciam de forma diferente no comportamento de alimentação e no crescimento/desenvolvimento de *C. includens*. Nos testes de atratividade (com e sem chance de escolha) as PI de IAC1850, BRS Sublime e Pérola, repeliram mais lagartas (deterrença) em relação as PNI, demonstrando que as plantas desses genótipos respondem ao ataque da lagarta *C. includens*. Resultado semelhante também foi visto em IAC Polaco, BRS FC 402 e BRS MG Madrepérola no teste com chance de escolha e em IAC Sintonia (Nova seleção) no teste sem chance de escolha. Sugerindo que quando as plantas dessas variedades são atacadas por desfolhadores mecanismos de resistência induzida por antixenose (alimentação) são acionadas.

As plantas atacadas desses genótipos provavelmente liberaram substâncias voláteis ou não voláteis decorrentes do metabolismo secundário que atuaram diretamente sobre as lagartas como repelentes (Baldin et al., 2019). Vários trabalhos demonstraram que plantas atacadas previamente podem aumentar seus mecanismos de defesa para diminuir ou cessar o ataque de pragas (Srinivas et al., 2001; Foyer et al., 2016; Hahn e Maron, 2018; Freitas et al., 2017; Eduardo, 2018). Freitas (2020), avaliou 10 genótipos de soja em teste com dupla chance de escolha e apenas PI por coespecíficos de um genótipo (UFUS Xavante) foram atrativas para a lagarta *Spodoptera cosmioides* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae) o restante dos nove genótipos as PI foram repelentes. No experimento de Eduardo (2018), plantas de soja injuriadas por *H. virescens* foram repelentes para a mesma espécie de lagarta.

Os principais compostos de defesa das plantas estão na classe dos terpenóides, compostos aromáticos, alcaloídes, compostos fenólicos e flavonoides (Poelman e Dicke, 2014; Eduardo et al., 2016; Ulhoa, 2018; Freitas, 2020; Ulhoa et al., 2020). Muitas dessas substâncias podem ser captadas pelos insetos herbívoros, como compostos voláteis ou não voláteis que podem ajudar (caimônios) ou prejudicar (alomônios) a localização do hospedeiro (planta) pelo inseto. A baixa atratividade da planta pode estar relacionada com a ausência de caimônios e/ou altos níveis de alomônios (Smith, 2005; Xu e Turlings, 2018). De acordo com Turlings

e Erb (2018), as plantas também podem liberar voláteis específicos atraindo os inimigos naturais dos insetos herbívoros (predadores e parasitoides) ou repelindo o inseto-praga. Além de mecanismos químicos, as plantas podem utilizar suas características morfológicas tais como espinhos, pilosidades, tricomas ou mesmo deposição de substâncias químicas como cutinas, ceras, suberinas e silicatos nas folhas formando uma “barreira” física, que pode ocasionar efeitos negativos no comportamento de alimentação de inúmeros insetos-praga (Baldin et al., 2019).

Nos genótipos DAMA (com e sem chance de escolha) e IAC Imperador (sem chance de escolha) as lagartas foram menos atraídas pelas PI, porém os índices de atratividade (0,99) foram muito próximos de 1,00 sugerindo neutralidade de preferência em relação às PNI. Nesse caso, os perfis químicos das PI não afetaram a resposta das lagartas. De forma semelhante, Blackmer et al. (2004) observaram que o percevejo *Lygus hesperus* (Knight, 1917) (Heteroptera: Miridae) não evitou as plantas de alfafa injuriadas, mesmo tendo sido mostrado, através de análises químicas, que houve indução de voláteis de defesa após a injúria. Portanto, *L. hesperus* pode ter respondido aos voláteis da planta, independentemente da injúria. Ulhoa et al. (2020), observaram que não houve diferença estatística nos testes quando plantas de arroz não injuriada e injuriadas foram confrontadas em bioensaios usando olfatometro em forma de “Y”, o percevejo *Glypheapomis spinosa* (Campos e Grazia, 1998) (Heteroptera: Pentatomidae) também não evitou as plantas injuriadas pela mesma espécie.

Por outro lado, nos testes de atratividade (com e sem chance de escolha) as PI de ANFC9, IAC Sintonia (Antiga seleção) e BRS Estilo foram mais atrativas do que as PNI para as lagartas da mesma espécie. Sugerindo que as plantas atacadas de alguns genótipos também podem ser atrativas. Resultado semelhante também foi visto em IAC Imperador no teste com chance de escolha e em BRS FC402 e BRS MG Madrepérola no teste sem chance de escolha. Evidenciando que características intrínsecas também são importantes pois cada genótipo pode ter uma resposta diferente mesmo em condições externas semelhantes. De acordo com War et al. (2012), voláteis de plantas induzidos por herbivoria (HIPVs) representam um importante papel na defesa das plantas. No entanto, custos ecológicos como a atração de herbívoros também podem estar envolvidos. Por exemplo, tem sido demonstrado

que a espécie *Leptinotarsa decemlineata* (Say, 1824) (Coleoptera: Chrysomelidae) é atraída pela mistura dos compostos voláteis acetato de cis-3-hexenil, linalol e Metil Salicilato que são produzidos e emitidos por plantas de batata injuriadas (Dickens, 2000; Dickens, 2006). No estudo de campo de El-Sayed et al. (2018), os voláteis emitidos por macieiras injuriadas pela lagarta *Pandemis pyrusana* (Kearfott, 1907) (Lepidoptera: Tortricidae) foram atrativas para os adultos (mariposas) de *P. pyrusana* e *Choristoneura rosaceana* (Harris, 1841) (Lepidoptera: Tortricidae), no entanto também foi atrativo ao predador *Chrysoperla plorabunda* (Fitch, 1855) (Neuroptera: Chrysopidae).

Sinais químicos das plantas induzidos por herbivoria também podem ser pistas para insetos herbívoros para encontrar sítios de alimentação, abrigo, oviposição e/ou parceiros sexuais (Carrasco et al., 2015; Webster e Cardé, 2017). Por outro lado, plantas já habitadas por coespecíficos e/ou heteroespecíficos podem ser menos atrativas aos herbívoros, devido ao maior risco de competição por alimento e de influxo de inimigos naturais, preferindo assim plantas inexploradas (Landolt e Phillips, 1997; Dicke e Van Loon, 2000; Ulhoa, 2018; Turlings e Erb, 2018). Devido a essas variações e interações ecológicas que ocorrem com complexidade nos agroecossistemas é muito importante fazer estudos de cada caso considerando fatores intrínsecos e extrínsecos específicos, pois são muitas variáveis que podem influenciar as interações entre insetos e plantas.

Em relação a área foliar consumida entre PI e PNI (teste com dupla chance de escolha) no mesmo genótipo, houve diferença estatística apenas no genótipo BRS Sublime. Nos discos foliares de BRS Sublime originados de plantas sem injúria houve um consumo significativamente maior em relação aos discos foliares de plantas com injúria. Nos testes sem chance de escolha houve diferença significativa em IAC Sintonia (Nova seleção) e BRS FC 402, as PI também foram menos consumidas. Corroborando com os resultados de índice de atratividade, pois as PI desses genótipos foram repelentes em relação as PNI. Sugerindo que as plantas injuriadas desses materiais podem ter produzido substâncias dissuasivas, deterrentes, tóxicas, inibidores de alimentação e/ou de digestibilidade dos tecidos vegetais ao serem atacadas (Vendramim e Guzzo, 2009; Poelman e Dicke, 2014; Baldin et al., 2019). Entretanto, o consumo foliar nem sempre é proporcional à atratividade, uma vez que

folhas de plantas que liberam voláteis atrativos podem ter substâncias que levam a redução na alimentação e trazem consequências negativas para o desenvolvimento biológico do inseto herbívoro (Smith, 2005; Hagenbucher et al., 2013). A folha pode ter uma baixa qualidade nutricional, então a lagarta tem que se alimentar mais, para obter níveis nutricionais que ela necessita (Lin et al., 1990). Ou seja, a presença de resistência por antixenose em uma planta é difícil de determinar apenas a partir de dados de desfolha, pois as reduções no consumo foliar podem resultar tanto da antixenose (não preferência) quanto da antibiose. Por esta razão, foi usado neste trabalho o índice nutricional, segundo a metodologia de Waldbauer (1968), para ajudar a diferenciar os efeitos antixenóticos dos efeitos na biologia das lagartas.

Os índices nutricionais demonstraram que o efeito dos diferentes genótipos e injúria prévia influenciou o desenvolvimento de *C. includens*. Comparando o mesmo genótipo com planta injuriada e não injuriada, na taxa de consumo relativo (RCR) e taxa metabólica relativa (RMR), houve diferença nos genótipos ANFC 9, IAC Sintonia (Nova seleção) e BRS FC 402. Nesses genótipos, o RCR e RMR das PI foram significativamente menores em relação as PNI. Demonstrando que a quantidade de alimento ingerido por grama de peso corpóreo do inseto por dia e a quantidade de alimento gasto em metabolismo por miligrama de peso corpóreo diminuiu nesses genótipos com injúria prévia. Somente o genótipo Pérola teve diferença em relação a taxa de crescimento relativo (RGR), as lagartas alimentadas com planta injuriadas por *C. includens* tiveram uma menor RGR, ou seja, teve um menor ganho de biomassa em relação a seu peso. Sugerindo que ao serem danificadas pelas lagartas essas variedades acionam mecanismos de resistência induzida por antibiose.

Possivelmente as folhas desses genótipos ao serem atacadas produzem compostos anti-nutricionais e/ou substâncias secundárias relacionados à defesa que podem acarretar impropriedades nutricionais. Como exemplo de compostos anti-nutricionais que reduzem a digestibilidade pode-se citar a produção de inibidores de protease que inibem as enzimas digestivas dos insetos. A atuação dos inibidores de protease provoca uma deficiência de aminoácidos que vão influenciar diretamente o crescimento e desenvolvimento do inseto (Heil e Karban, 2010; Ulhoa, 2018; Baldin et al., 2019). A qualidade e quantidade de nutrientes consumida na fase larval podem interferir na sobrevivência, desenvolvimento, crescimento e fecundidade do inseto

(Mithofer e Boland et al., 2012). Em geral, os insetos precisam de lipídeos, carboidratos, aminoácidos, minerais e vitaminas. O excesso ou a falta desses compostos nutricionais podem ser prejudiciais ao desenvolvimento. Esses nutrientes devem ser ingeridos em quantidades adequadas e em equilíbrio pelos insetos (Chapman, 2013).

Resultados semelhantes já foram observados em desfolhadores e plantas cultivadas, Chiang et al. (1986) relataram que *Epilachna varivestis* (Mulsant, 1850) (Coleoptera: Coccinellidae), exibiu atraso no desenvolvimento quando as folhas da soja foram previamente danificadas por esse besouro. Da mesma forma, Bi et al. (1994) observaram taxas de crescimento reduzidas da lagarta *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuidae), ao se alimentar de tecidos vegetais danificados por coespecíficos. Lin et al., (1990) verificaram que *A. gemmatalis* alimentada com folhas de plantas de soja previamente danificadas teve um tempo de desenvolvimento 8,5% maior e um peso pupal 10,4% menor em comparação com as larvas alimentadas com folhas de plantas sem injúria. Sugerindo que os mecanismos envolvidos na indução, diminuiu a qualidade nutricional das folhas de soja. Srinivas et al. (2021) mostraram que aplicações exógenas de ácido jasmônico (JA) induziram as defesas das plantas de soja contra *S. frugiperda*, pois reduziram o ganho de peso de 28,7% para 76,7%, o consumo foliar de 3,7% para 65% e eficiência de conversão de 10,9% para 42,2%.

Em contraste, as lagartas alimentadas com plantas injúriadas de BRS Estilo e BRS MG Madrepérola tiveram respectivamente maior RCR e RMR, em relação a plantas não injúriadas. Sugerindo que as plantas atacadas de alguns genótipos também podem mudar a composição química das folhas e acabarem sendo mais adequadas para o desenvolvimento de determinadas espécies de inseto em relação as PNI. No capítulo 2, as plantas sem injúria do genótipo BRS MG Madrepérola foram altamente resistentes constitutivamente por antibiose, a viabilidade larval foi de apenas 4 %, ou seja, de 50 lagartas testadas apenas duas alimentadas com esse material chegaram a fase de pupa.

Pode-se destacar o genótipo BRS Sublime, que além de apresentar resistência induzida (menor atratividade e menor desfolha nas PI), também foi considerado resistente constitutivamente por antixenose a *C. includens* no capítulo 2. De forma

semelhante, IAC 1850 foi resistente por antibiose (constitutivo) e antixenose (induzido), os resultados desses dois genótipos contrariam a hipótese de correlação negativa entre os dois modos de resistência. A expressão de características químicas e físicas relacionadas à resistência tem um custo metabólico maior para as plantas, e supõe-se que ambas as defesas estejam em competição pelo mesmo (limitado) conjunto de recursos. Além disso, acredita-se que uma espécie já bem defendida pela alta resistência constitutiva se beneficia apenas de forma insignificante pela resistência adicional induzida (Koricheva et al., 2004; Srinivas et al., 2021). Portanto, os modos de expressão são características adaptativas e uma correlação negativa deve ser observada entre eles (Agrawal et al., 2010).

Entretanto, os poucos estudos que avaliaram simultaneamente a resistência constitutiva e induzida divergem quanto à hipótese definitiva de correlação negativa e sugerem que a presença dessas características depende da interação planta-herbívoro, modo e intensidade de ataque da praga, condições em que as plantas são cultivadas e outros fatores ambientais. (Underwood, 1998; Underwood et al., 2000, 2002; Agrawal et al., 2010; Kempel et al., 2011; Rasmann et al., 2014; Rasmann et al., 2015; Freitas et al., 2017). Portanto, é possível que ambos os modos de expressão ocorram em processos metabólicos independentes, sendo capaz de ocorrer individualmente ou em conjunto, e que esta característica é intrínseca de cada genótipo.

Resultados interessantes foram encontrados, apesar do genótipo IAC Sintonia (Nova seleção) ser suscetível constitutivamente (capítulo 2), as plantas ao serem injuriadas expressaram respostas induzidas, sendo esse material classificado como resistente por antixenose e antibiose a *C. includens*. De forma oposta, BRS MG Madrepérola foi considerado resistente nos testes de resistência constitutiva e suscetível quando as plantas foram injuriadas. Os resultados com estas duas variedades favorece a hipótese de correlação negativa entre a defesa induzida e constitutiva. Além disso, as variedades como Perola, BRS FC 402 e ANFC 9 que foram consideradas neutras nos testes constitutivos, apresentaram resistência a *C. includens* por indução natural, demonstrando a grande variação de respostas que existe entre os genótipos.

As respostas induzidas das plantas envolvem complexos mecanismos que ainda não foram completamente compreendidos e necessitam de mais estudos. A falta de informações, provavelmente é o principal motivo da resistência induzida ainda não ser considerada nos programas de melhoramento genético. Mesmo assim, a resistência induzida tem grande potencial para ser utilizada no manejo integrado de pragas, pois sua principal vantagem em relação a resistência constitutiva é devido a maior eficiência energética, pois tem um menor custo metabólico e efeito na produtividade. Além disso, os genes responsáveis pela expressão química, bioquímica e morfológica de resistência induzida por herbivoria podem ser inseridos em cultivares comerciais através de engenharia genética. Com a possibilidade de associar junto com plantas transgênicas que expressam as proteínas inseticidas de *Bacillus thuringiensis* (Berliner, 1915) (Bacillales: Bacillaceae) (Bt). Adicionalmente, o uso de indutores de resistência, como a aplicação exógena de fitormônios, tem mostrado resultados promissores.

Concluindo, os genótipos de feijão com resistência induzida foram: BRS Sublime (antixenose), IAC 1850 (antixenose), Pérola (antixenose e antibiose), IAC Sintonia (Nova seleção) (antixenose e antibiose), BRS FC 402 (antixenose e antibiose) e ANFC 9 (antibiose). Este é o primeiro estudo na literatura que observou a resistência induzida destes genótipos a *C. includens*. A seleção de materiais com resistência constitutiva e induzida a insetos, pode favorecer ganhos econômicos significativos (Hutchison et al., 2010; Baldin et al., 2019). Portanto, os dados desse estudo fornecem informações importantes que poderão auxiliar os melhoristas e produtores de feijão no manejo da lagarta-falsa-medideira. Outros estudos ainda são necessários, como identificar os mecanismos responsáveis pela resistência induzida a *C. includens* para aumentar sua expressão ou incorporá-los em programas de melhoramento genético, identificar os diferentes compostos químicos que são produzidos pela indução por herbivoria. Além disso, avaliar a resistência a outros tipos de estresse e produtividade no campo, para viabilizar o plantio em grande escala desses genótipos pelos produtores de feijão.

## 5. Referências

Agrawal AA, Conner JK, Rasmann S (2010) Tradeoffs and negative correlations in evolutionary ecology. **Evolution Since Darwin: the first** 150:243-268.

Baldin ELL, Lourenção AL, Schlick-Souza EC (2014) Outbreaks of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) in common bean and castor bean in São Paulo State, Brazil. **Bragantia** 73: 458–461.

Baldin ELL, Stamm M, Mitchell D, Bentivenha JPF, Koch KG, Heng-Moss TM, Hunt TE (2018) Feeding Behavior of *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae) on Soybeans Exhibiting Antibiosis, Antixenosis, and Tolerance Resistance. **Florida Entomologist** 101: 223-228.

Baldin ELL, Vendramin JD, Lourenção AL (2019) **Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações**. Piracicaba: FEALQ, 493p.

Bernardi O, Malvestiti GS, Dourado PM, Oliveira WS, Martinelli S, Berger GU, Head GP, Omoto (2012) Assessment of the high-dose concept and level of control provided by MON 87701x MON 89788 soybean against *Anticarsia gemmatilis* and *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Pest Management Science** 68: 1083-1091.

Bhavanam S, Stout MJ (2021) Assessment of Silicon- and Mycorrhizae- Mediated Constitutive and Induced Systemic Resistance in Rice, *Oryza sativa* L., against the Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* Smith. **Plants** 10, 2126.

Blackmer JL, Rodriguez-Saona C, Byers JA, Shope KL, Smith JP Behavioral response of *Lygus hesperus* to conspecifics and headspace volatiles of alfalfa in a y-tube olfactometer (2004). **Journal of Chemical Ecology** 30(8):1547-1564.

Boiça Júnior AL, Souza BHS, Bottega DB, Rodrigues NEL, Costa EM, Ribeiro Z A (2012) Resistência de plantas e produtos naturais no controle de pragas em culturas agrícolas. In: Busoli AC, Grigolli JFJ, Souza LA, Kubota MM, Costa EM, Santos LAO, Netto JC, Viana MA.(Ed.). **Tópicos em entomologia agrícola – V**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda., 2012. p. 139- 158.

Boiça Júnior A, Souza B, Lopes G, Costa E, Moraes R, Eduardo W (2013) Atualidades em resistência de plantas a insetos. In.: Busoli A, Alencar J, Fraga D, Souza L, Souza B, Grigolli J (Eds.) **Tópicos em Entomologia Agrícola - VI**. Jaboticabal: Multipress Ltda. p. 207-224.

Boiça Júnior AL, Souza BH, Costa EN, Paiva LB (2017a) Influence of fall armyworm previous experience with soybean genotypes on larval feeding behavior. **Arthropod Plant Interactions** 11:89-97.

Boiça Júnior AL, Freitas MM, Nogueira L, Di Bello MM, Freitas CA, Barcelos PHS, Faria SCQdS (2017b) Resistência de plantas a insetos em culturas agrícolas. In.: Castilho RdC, Barilli DR, Truzi CC (eds.) **Tópicos em Entomologia Agrícola - X**. Jaboticabal, SP: Gráfica Multipress, p. 97-122.

Boiça Júnior AL, Freitas CA, Freitas MM, Nogueira L, Di Bello MM, Fonseca SS, Eduardo WI (2018) Estratégias de defesa de plantas a insetos. In.: Castilho RC, Truzi CC, Pinto CPG (Eds.) **Tópicos em Entomologia Agrícola - XI**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda. p. 71-93.

Boiça Júnior AL, Freitas MM, Freitas CA, Di Bello MM, Ulhoa LA, Pascutti TM, Souza BHS (2019) Respostas induzidas de defesa das plantas e implicações no manejo integrado de pragas. In.: Castilho RDC, Rezende GF, Nascimento J, Rossi GD (eds.) **Tópicos em Entomologia Agrícola - XII**. Jaboticabal, SP: Multipress, p. 137-160.

Boiça Júnior AL, Souza BHS (2019) Resistência induzida e bioestimulantes no manejo integrado de pragas. In.: Castilho RDC, Rezende GF, Nascimento J, Rossi GD (eds.) **Tópicos em Entomologia Agrícola - XII**. Jaboticabal, SP: Multipress, p. 161-171.

Bueno RCOF, Parra JRP, Bueno AF, Moscardi F, Oliveira JRG, Camillo MF (2007) Sem barreira. **Revista Cultivar** 93:12-15.

Bueno RCOF, Bueno ADF, Moscardi F, Parra JRP, Hoffmann-Campo CB (2011) Lepidopteran larva consumption of soybean foliage: basis for developing multiple-species economic thresholds for pest management decisions. **Pest Management Science** 67:170-174.

Bueno AF, Carvalho GA, Santos AC, Sosa-Gómez DR, Silva DM (2017) Pesticide selectivity to natural enemies: challenges and constraints for research and field recommendation. **Ciência Rural** 47:6.

Carrasco D, Larsson MC, Anderson P (2015) Insect host plant selection in complex environments. **Current Opinion in Insect Science** 8:1–7.

Chapman RF (2013) **The insects: structure and function**. New York: Cambridge University Press, pp.

Chiang HS, Norris DM, Ciepela A, Oosterwyk A, Shapiro P, Jackson M (1986) Comparative resistance in soybean lines to Mexican bean beetle. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 42:19–26.

Chen X, Richter AR, Stout MJ, Davis JA (2018) Effects of induced plant resistance on soybean looper (Lepidoptera: Noctuidae) in soybean. **Arthropod-Plant Interactions** 12(4): 543-551

CONAB (2021) **Acompanhamento da safra Brasileira: grãos**, v.9 Safra 2021/22, n.3 - Terceiro levantamento, Brasília: CONAB, 99p. (CONAB. Documento, 1).

Depec, 2017 - Departamento de Pesquisa e Estudos Econômicos. Disponível em: <[https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset\\_feijao.pdf](https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_feijao.pdf)>. Acesso do em: 27 fev. 2021.

De Moraes CM, Lewis WJ, Paré PW, Alborn HT, Tumlinson JH (1998) Herbivore-Infested plants selectively attract parasitoids. **Nature** 393:570-573.

Dickens JC (2000) Orientation of Colorado potato beetle to natural and synthetic blends of volatiles emitted by potato plants. **Agricultural and Forest Entomology** 2:167-172.

Dickens J (2006) Plant volatiles moderate response to aggregation pheromone in Colorado potato beetle. **Journal of Applied Entomology** 130:26-31.

Dicke M, Van Loon JJA (2000) Multitrophic effects of herbivore-induced plant volatiles in an evolutionary context. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, 97:237-249.

Eduardo WI, Júnior ALB, Moraes RFO, Chiorato AF, Perlatti B, Forim MR (2016) Antibiosis levels of common bean genotypes toward *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (Coleoptera: Bruchidae) and its correlation with flavonoids. **Journal of Stored Products Research** 67:63-70.

Eduardo WI (2018). **Metodologia de pesquisa, níveis nas categorias de resistência constitutiva em genótipos de soja e resistência induzida a *Heliothis virescens* e os mecanismos de defesas envolvidos**. 135 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Entomologia Agrícola) - Unesp Jaboticabal.

El-Sayed AM, Knight AL, Basoalto A, Suckling DM (2018) Caterpillar-induced plant volatiles attract conspecific herbivores and a generalist predator. **Journal of Applied Entomology** 1-9

Erb M, Veyrat N, Robert CAM, Xu H, Frey M, Ton J, Turlings TCJ (2015) Indole is an essential herbivore-induced volatile priming signal in maize. **Nature Communications** 6:62-73.

Erb M, Reymond P (2019) Molecular interactions between plants and insect herbivores. **Annual Review of Plant Biology** 70: 527–557

FAO (2022) **Crops and livestock products**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>>. Acessado em: 01 jul. 2021.

Foyer CH, Rasool B, Davey JW, Hancock RD (2016) Cross-tolerance to biotic and abiotic stresses in plant: a focus on resistance to aphid infestation. **Journal of Experimental Botany**. 67(7) 2025-2037.

Freitas MM, Souza BHS, Nogueira L, Di Bello MM, Boiça Júnior ALB (2017) Soybean defense induction to *Spodoptera cosmioides* herbivory is dependent on plant genotype and leaf position. **Arthropod-Plant Interactions** 12:85-96.

Freitas MM (2020). **Resistência em soja a *Spodoptera cosmioides* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) mediada por compostos secundários expressos constitutivamente ou induzidos por herbivoria**. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Entomologia Agrícola) - Unesp Jaboticabal.

Geiger F, Bengtsson J , Berendse F, Weisser WW, Emmerson M, Morales MB, Ceryngier P, Liira J, Tschirntkei T , Winqvist C , Eggers S , Bommarco R , Pařrt T , Bretagnolle V, Plantegenest M, Clement LW, Dennis C, Palmer C, Oñate JJ, Guerrero I, Hawro V, Aavik T, Thies C , Flohre A, Hanke S, Fischer C, Goedhart PW, Inchausti P (2010) Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. **Basic and Applied Ecology** 11: 97–105.

Greene G, Leppla N, Dickerson W (1976) Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology** 69:487-488.

Gordy JW, Leonard BR, Blouin D, Davis JA, Stout MJ (2015) Comparative effectiveness of potential elicitors of plant resistance against *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in four crop plants. **PLoS ONE** 10(9): e0136689

Hagenbucher S, Olson DM, Ruberson JR, Wäckers FL, Romeis J (2013) Resistance mechanisms against arthropod herbivores in cotton and their interactions with natural enemies. **Critical Reviews in Plant Sciences** 32:458-482.

Hahn PG, Maron JL (2018) Plant water stress and previous herbivore damage affect insect performance. **Ecological Entomology** 43 (1): 47-54.

Hare JD (2011) Ecological role of volatiles produced by plants in response to damage by herbivorous insects. **Annual Review of Entomology**. 56:161-180.

Hilker M, Meiners T (2011) Plants and insect eggs: how do they affect each other? **Phytochemistry** 72: 1612–1623.

Hilker M, Schwachtje J, Baier M, Balazadeh S, Baurle I (2016) Priming and memory of stress responses in organisms lacking a nervous system. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society** 91: 1118–1133.

Herzog DC (1980) Sampling soybean looper on soybean. In: Kogan M, Herzog DC. (ed.). **Sampling methods in soybean entomology**. New York: Springer-Verlag. p. 140-168.

Heil M, Karban R (2010) Explaining evolution of plant communication by airborne signals. **Trends in Ecology & Evolution** 25: 137–144.

Hutchison WD, Burkness EC, Mitchell PD, Moon RD, Leslie TW, Fleischer SJ, Abrahamson M, Hamilton KL, Steffey KL, Gray ME, Hellmich RL, Kaster LV, Hunt TE, Wright RJ, Pecinovsky K, Rabaey TL, Flood BR, Raun ES (2010) Areawide suppression of European corn borer with Bt maize reaps savings to non-Bt maize growers. **Science** 330:222-225.

Jauhar PP (2006) Modern biotechnology as an integral supplement to conventional plant breeding: the prospects and challenges. **Crop Science** 46:1841-1859.

Kant MR, Jonckheere W, Knecht B, Lemos F, Liu J, Schimmel BCJ, Villarroel CA, Ataíde LMS, Dermauw W, Glas JJ (2015) Mechanisms and ecological consequences of plant defense induction and suppression in herbivore communities. **Annals of Botany** 115:1015–1051.

Karasov TL, Chae E, Herman JJ, Bergelson J (2017) Mechanisms to mitigate the trade-off between growth and defense. **The Plant Cell** 29:666-680.

Karban R, Agrawal AA, Mangel M (1997) The benefits of induced defenses against herbivores. *Ecology* 78:1351-1355.

Karban R (2011) The ecology and evolution of induced resistance against herbivores. *Functional Ecology* 25:339-347.

Karban R (2019) The ecology and evolution of induced responses to herbivory and how plants perceive risk. **Ecological Entomology** 1:1-9.

Kempel A, Schädler M, Chrobok T, Fischer M, van Kleunen M (2011) Tradeoffs associated with constitutive and induced plant resistance against herbivory. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 108:5685-5689.

Kessler A, Baldwin IT (2002) Plant responses to insect herbivory: the emerging molecular analysis. **Annual Review of Plant Biology** 53: 299–328.

Kogan M, Goeden RD (1970) The host-plant range of *Lema trilineata daturaphila* (Coleoptera: Chrysomelidae). **Annals of the Entomological Society of America** 63:1175-1180.

Koricheva J, Nykanen H, Gianoli E (2004) Meta-analysis of Trade-offs among Plant Antiherbivore Defenses: Are Plants Jacks-of-All-Trades, Masters of All? **The American Naturalist** 74: 64–75.

Landolt PJ, Phillips TW (1997) Host plant influences on sex pheromone behavior of phytophagous insects. **Annual Review of Entomology** 42:371– 91.

Lin HC, Kogan M, Fischer D (1990). Induced resistance in soybean to the Mexican bean beetle (Coleoptera: Coccinellidae): Comparisons of inducing factors. **Environmental Entomology** 19: 1852–1857.

Li Z (2018) Evaluation of regulatory variation and theoretical health risk for pesticide maximum residue limits in food. **Journal of Environmental Management** 219:153-167.

Magalhães DM, Borges M, Laumann RA, Moraes MCB (2018) Influence of multiple- and single-species infestations on herbivore-induced cotton volatiles and *Anthonomus grandis* behavior. **Journal of Pest Science** 91: 1019–1032.

Magalhães DM, Fidelis AS, Izabela T, Borges M, Laumann RA, Blassioli-Moraes MC (2019). *Anthonomus grandis* aggregation pheromone induces cotton indirect defence and attracts the parasitic wasp *Bracon vulgaris*. **Journal of Experimental Botany** 70: 1891-1901.

Michereff MFF, Laumann RA, Borges M, Michereff-Filho M, Diniz IR, Farias-Neto, AL, Moraes MCB (2011) Volatiles mediating a plant herbivore-natural enemy interaction in resistant and susceptible soybean cultivars. **Journal of Chemical Ecology** 37:273-285.

Michereff MFF, Magalhães DM, Hassemer MJ, Laumann RA, Zhou JJ (2018). Variability in herbivore-induced defence signalling across different maize genotypes impacts significantly on natural enemy foraging behaviour. **Journal of Pest Science** 92: 723–736.

Mitchell C, Brennan RM, Graham J, Karley AJ (2016) Plant defense against herbivorous pests: exploiting resistance and tolerance traits for sustainable crop protection. **Frontiers in Plant Science** 7: 1132.

Mithofer A, Boland W (2012) Plant defense against herbivores: chemical aspects. **Annual Review of Plant Biology** 63:431-450.

Nguyen D, D'Agostino N, Tytgat TOG, Sun P, Lortzing T, Visser EJW, Cristescu SM, Steppuhn A, Mariani C, van Dam NM (2016a) Drought and flooding have distinct effects on herbivore-induced responses and resistance in *Solanum dulcamara*. **Plant, Cell and Environment**. 39(7): 1485-1499.

Pereira R, Neves D, Campos J, Santana Júnior P, Hunt T, Picanço M (2018) Natural biological control of *Chrysodeixis includens*. **Bulletin of Entomological Research** 108 (6): 831-842.

Poelman EH, Dicke M (2014) Plant-mediated interactions among insects within a community ecological perspective. **Annual Plant Reviews** 47:309-337.

Quintela ED (2009) Manejo Integrado de Pragas do Feijoeiro. In: Kluthcouski J, Stone LF, AIDAR H. (ed.) **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. p. 289-308.

Quintela ED, Barbosa FR (2015) **Manual de identificação de insetos e outros invertebrados pragas do feijoeiro**. 2a. Edição Atualizada. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 91 p. (Embrapa. Documento, 246).

Rasmann S, Buri A, Gallot-Lavallée M, Joaquim J, Purcell J, Pellissier L (2014) Differential allocation and deployment of direct and indirect defences by *Vicia sepium* along elevation gradients. **Journal of Ecology** 102:930-938.

Rasmann S, Chassin E, Bilat J, Glauser G, Reymond P (2015) Trade-off between constitutive and inducible resistance against herbivores is only partially explained by gene expression and glucosinolate production. **Journal of experimental botany** 66:2527-2534.

Reymond P (2013) Perception, signaling and molecular basis of oviposition-mediated plant responses. **Planta** 238: 247–258.

Srinivas P, Danielson SD, Smith CM, Foster JE. Cross-resistance and resistance longevity as induced by bean leaf beetle, *Cerotoma trifurcata* and soybean looper, *Pseudoplusia includens* herbivory on soybean (2001) **Journal of Insect Science** 1(1): 1-5.

Srinivas KL, Bret DE, Jeffrey AD, Stout MJ (2021) Jasmonic acid-induced resistance to fall armyworm in soybeans: Variation among genotypes and tradeoffs with constitutive resistance. **Basic and Applied Ecology** 56: 97-109.

Santamaria ME, Arnaiz A, Rosa-Diaz I, González-Melendi P, Romero-Hernandez G, Ojeda-Martinez DA, Garcia A, Contreras E, Martinez M, Diaz I (2020) Plant Defenses Against *Tetranychus urticae*: Mind the Gaps. **Plants** 9 (4): 464.

Smith CM (2005) **Plant resistance to arthropods: molecular and conventional approaches**. Dordrecht: Springer, 421 pp.

Smith CM, Boyko EV (2007) The molecular bases of plant resistance and defense responses to aphid feeding: current status. **Entomologia Experimentalis et Applicata** 122:1-16, 2007.

Smith CM, Clement SL (2012) Molecular bases of plant resistance to arthropods. **Annual Review of Entomology** 57:309-328.

Specht A, Paula-Moraes SV, Sosa-Gómez DR (2015) Host plants of *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera, Noctuidae, Plusiinae). **Revista Brasileira de Entomologia** 59: 343–345.

Stahl E, Hilfiker O, Reymond P (2018) Plant-arthropod interactions: Who is the winner? **Plant Journal** 93: 703–728.

Stout MJ, Riggio MR, Yang Y (2009) Direct induced resistance in *Oryza sativa* to *Spodoptera frugiperda*. **Environmental Entomology** 38:1174–1181

Stout MJ (2013) Reevaluating the conceptual framework for applied research on host plant resistance. **Insect Science** 20: 263-272.

Stout MJ (2014) Types and Mechanisms of Rapidly Induced Plant Resistance to Herbivorous Arthropods. In.: Walters DRN, Adrian, C; Lyon, Gary, D (ed.) **Induced Resistance for Plant Defense: A Sustainable Approach to Crop Protection**. Oxford: John Wiley & Sons. p. 81-100.

Stout MJ (2020) Plant-insect interactions, host-plant resistance, and pest management. In: Kogan, M. and L. Higley (eds.). **Integrated management of insect, mite and nematode pests in agriculture** - Vol 2: Current and Future Developments in IPM. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK.

Tamiru A, Khan ZR, Bruce TJ (2015) New directions for improving crop resistance to insects by breeding for egg induced defence. **Current Opinion in Insect Science** 9:51-55.

Tudi M, Daniel Ruan H, Wang L, Lyu J, Sadler R, Connell D, Chu C, Phung DT (2021) Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 18: 1112-1135.

Turlings T, Erb M (2018) Tritrophic Interactions Mediated by Herbivore-Induced Plant Volatiles: Mechanisms, Ecological Relevance, and Application Potential. **Annual Review of Entomology** 63:433-452.

Ulhoa LA (2018). **Influência de semioquímicos emitidos por plantas de arroz no comportamento de *Tibraca limbativentris*, *Glypheidemia spinoza* (Heteroptera: Pentatomidae) e *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygastridae)**. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Fitossanidade) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás.

Ulhoa LA, Barrigossi JAF, Borges M, Laumann RA, Blassioli-Moraes MC (2020) 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** 168: 76–90.

Underwood NC (1998) The timing of induced resistance and induced susceptibility in the soybean-Mexican bean beetle system (1998). **Oecologia** 114(3): 376-381.

Underwood N, Morris W, Gross K, Lockwood III JR (2000) Induced resistance to Mexican bean beetles in soybean: variation among genotypes and lack of correlation with constitutive resistance. **Oecologia** 122 (1): 83-89.

Underwood N, Rausher M, Cook W (2002) Bioassay versus chemical assay: measuring the impact of induced and constitutive resistance on herbivores in the field. **Oecologia** 131(2): 211-219.

Vendramim JD, Guzzo EC (2009) Resistência de plantas e a bioecologia e nutrição dos insetos. In: Panizzi AR, Parra JRP (Ed.). **Bioecologia e nutrição dos insetos: bases para o manejo integrado de pragas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. p. 1055-1105.

Xu H, Turlings TCJ (2018) Plant volatiles as mate-finding cues for insects. **Trends in Plant Science** 23:100-111.

War AR, Paulraj MG, Ahmad T, Buhroo AA, Hussain B, Ignacimuthu S, Sharma HC (2012) Mechanisms of plant defense against insect herbivores. **Plant Signaling and Behavior** 7:1306-1320.

Waldbauer G (1968) The consumption and utilization of food by insects. **Advances in insect physiology** 5 (1): 229-288.

Wasternack C (2007) Jasmonates: an update on biosynthesis, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. **Annals of Botany** 100(4): 681-697.

Wasternack C, Hause B (2013) Jasmonates: biosynthesis, perception, signal transduction and action in plant stress, response, growth and development: An update to the 2007 review in Annals of Botany. **Annals of Botany** 111: 1021-1058.

Webster B, Cardé RT (2017) Use of habitat odour by host-seeking insects: Use of habitat odour by host-seeking insects. **Biological Reviews** 92(2):1241–1249.

Zakir AZ (2011) **Inducible defenses in herbivore-plant interactions: functions mechanisms and manipulations**. Uppsala: Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agriculture Science, Swedish University of Agriculture Sciences, 1-27

p. (Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agriculture Science, Swedish University of Agriculture Sciences. Documento, 2011-2).

Züst T, Agrawal AA (2017) Trade-offs between plant growth and defense against insect herbivory: an emerging mechanistic synthesis. **Annual review of plant biology** 68:513-534.

## **CAPÍTULO 4 – Influência de micorrizas e silício na tolerância de milho e soja a *Spodoptera frugiperda***

**RESUMO** – A produtividade da soja e do milho vem sendo afetada pela ocorrência de diversas espécies de insetos-praga, dentre eles a lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda*. O controle desses insetos tem sido realizado principalmente através da aplicação de inseticidas químicos e/ou do uso de plantas transgênicas que expressam as proteínas inseticidas de *Bacillus thuringiensis* (Bt). Entretanto, estes métodos de controle podem impor uma forte pressão de seleção principalmente nas populações das lagartas, favorecendo a evolução da resistência. Portanto, a aplicação de fontes de silício (Si) e fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) para aumentar a resistência e melhorar o desenvolvimento das plantas, são alternativas para serem usadas no manejo integrado de pragas. O Si absorvido pelas plantas é depositado no tecido das folhas, formando uma barreira mecânica que dificulta a alimentação do inseto herbívoro. Os FMAs formam associações com as raízes e ajudam as plantas na absorção de nutrientes e água. Silício e FMAs podem também induzir as defesas das plantas contra herbívoros por processos fisiológicos e bioquímicos. Os objetivos deste trabalho foram avaliar os efeitos da aplicação de Si e FMAs no desenvolvimento e na tolerância de soja e milho a *S. frugiperda* em casa de vegetação e de soja as diferentes pragas no campo. Em casa de vegetação foi feito a contagem do número de trifólios na soja, folhas no milho, a medição da parte aérea e do peso seco da raiz e parte aérea das plantas de soja e milho com e sem danos mecânicos. Além disso, foi avaliado o desenvolvimento biológico das lagartas, a porcentagem de desfolha nas plantas infestadas com *S. frugiperda* e a quantificação da colonização micorrízica nas raízes das duas culturas. Em campo foi feito a contagem de plantas por fileira, a medição da altura, a avaliação do estágio fenológico, o levantamento das espécies de insetos-praga e a avaliação da qualidade de sementes de plantas de soja. Os testes em casa de vegetação e campo demonstraram que a inoculação e colonização de FMAs nas raízes e a aplicação de Si no solo individualmente ou em conjunto (FMA+Si) influenciaram positivamente em alguns parâmetros o desenvolvimento, resistência e tolerância das plantas de milho e soja. Os resultados deste trabalho são importantes para buscar alternativas sustentáveis no cultivo dessas importantes culturas, como a demonstração que a aplicação de Si e FMA no solo é benéfico para as culturas do milho e da soja. Outros estudos ainda são necessários, como avaliar a produtividade/produção desses tratamentos no campo com diferentes genótipos de soja e milho.

**Palavras-chave:** fungos micorrízicos arbusculares, *Glycine max*, resistência de plantas a insetos, silicato de cálcio, *Spodoptera frugiperda*, *Zea mays*

## CHAPTER 4 – Influence of mycorrhiza and silicon on corn and soybean tolerance to *Spodoptera frugiperda*

**ABSTRACT** – Soybean and corn productivity has been affected by the occurrence of several insect pest species, among them the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. The control of this insect has been carried out mainly through the application of chemical insecticides and/or the use of transgenic plants that express the insecticidal proteins of *Bacillus thuringiensis* (Bt). However, these control methods can impose strong selection pressure on caterpillar populations, favoring the evolution of resistance. Therefore, the application of sources of silicon (Si) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) to increase resistance and improve plant development are alternatives to be used in integrated pest management. The Si absorbed by the plants is deposited in the leaf tissue, forming a mechanical barrier that makes it difficult for the herbivorous insect to feed. AMFs form associations with the roots and help plants absorb nutrients and water. Si and AMFs can also induce plant defenses against herbivores by physiological and biochemical processes. The objectives of this work were to evaluate the effects of the application of Si and AMF on the development and tolerance of soybean and corn to *S. frugiperda* in a greenhouse and soybean to different pests in the field. In a greenhouse, the number of trefoils in soybeans, leaves in corn, the measurement of the aerial part and the dry weight of the root and aerial part of the soybean and corn plants with and without mechanical damages were carried out. Furthermore, the biological development of the caterpillars, the percentage of defoliation in plants infested with *S. frugiperda* and the quantification of mycorrhizal colonization in the roots of both cultures were evaluated. In the field, the number of plants per row, height measurement, phenological stage evaluation, insect pest species survey and quality evaluation of soybean plant seeds were performed. The tests in greenhouse and field showed that the inoculation and colonization of AMFs in the roots and the application of Si in the soil individually or together (AMF+Si) positively influenced the development, resistance and tolerance of maize plants in some parameters. Soy. The results of this work are important to seek sustainable alternatives in the cultivation of these important crops, as the demonstration that the application of Si and FMA in the soil is beneficial for corn and soybean crops. Further studies are still needed, such as evaluating the productivity/production of these treatments in the field with different soybean and corn genotypes.

**Keywords:** arbuscular mycorrhizal fungi, calcium silicate, *Glycine max*, plant insect resistance, *Spodoptera frugiperda*, *Zea mays*

## 1. Introdução

A soja e o milho são algumas das culturas mais cultivadas no mundo, seus grãos são importantes fontes de proteína, óleo vegetal, carboidratos e vitaminas para o consumo humano e animal. Além disso, essas culturas são utilizadas na produção de produtos farmacêuticos, biocombustíveis, cosméticos, óleo, álcool, plástico, entre outros, gerando diversos empregos no Brasil e no mundo (Masuda e Goldsmith, 2009; Singh, 2010; Rosegrant et al., 2012; Bezerra, 2015; Duarte et al., 2015; Strazzi, 2015; Sugiyama et al., 2015; Silva et al., 2017; Turzi et al., 2017; Veljkovića et al., 2018).

Na safra 2020/21 a produção mundial de soja foi de 362,947 milhões de toneladas em uma área de 127,842 milhões de hectares (USDA, 2021). O Brasil é atualmente o maior produtor mundial do grão, a produção na safra 2020/21 foi de 135,409 milhões de toneladas em 38,50 milhões de hectares (produtividade de 3,52 toneladas/ha) (CONAB, 2021). Os Estados Unidos em 2020/21 foi o segundo maior produtor de soja, com uma produção de 112,549 milhões de toneladas em 33,313 milhões de hectares (produtividade de 3,38 toneladas/ha) (USDA, 2021). Em 2020/21 foi produzido 1,14 bilhões de toneladas de milho no mundo, os países que mais produzem em ordem são: Estados Unidos, China, Brasil e Argentina, juntos representam aproximadamente 70% da produção mundial. Na safra 2020/21 os Estados Unidos e o Brasil produziram 368 e 87 milhões de toneladas de milho, respectivamente. Em 2020/21, o milho foi cultivado no Brasil em uma área de 19,94 milhões de hectares, com produtividade de 4,37 toneladas/ha (CONAB, 2021; USDA, 2021). Em muitas regiões produtoras do Brasil, essas culturas são cultivadas em sucessão em uma mesma área. Geralmente, o plantio da soja é feito no início das chuvas em outubro/novembro e o plantio do milho após a colheita da soja em fevereiro/março (CONAB, 2021).

A produtividade de milho e soja vem sendo afetada pela ocorrência de diversas espécies de insetos-praga, dentre eles a lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) (Hoffmann-Campo et al., 2012; Quintela e Barbosa, 2015; Valicente, 2015; Eghrari et al., 2021). O método mais utilizado para o controle desses lepidópteros e outras espécies de praga no campo é a aplicação de inseticidas químicos. No entanto, existem vários problemas derivados do seu uso,

principalmente os relacionados à saúde humana (Li, 2018), ao impacto ambiental (Tudi et al., 2021) e ao frequente aparecimento de populações resistentes aos inseticidas (Spark e Nauen, 2015). Os inseticidas químicos podem também afetar negativamente os insetos polinizadores (Rundlöf et al., 2015) e os inimigos naturais (Geiger et al., 2010, Pereira et al., 2018) que atuam como agentes de controle biológico das pragas (Bueno et al., 2017). A lagarta *S. frugiperda* é de difícil controle, principalmente na cultura do milho, pois essa lagarta se aloja no interior do cartucho, dificultando o contato com o inseticida. Esse lepidóptero causa danos em todos os estádios de desenvolvimento do milho e podem causar reduções de produtividade de até 60% (Barros et al., 2010; Valicente, 2015). Outro método muito utilizado para o controle de lagartas é o plantio de cultivares transgênicas que expressam as proteínas inseticidas de *Bacillus thuringiensis* (Bt) (Miraldo et al., 2016; Parisi et al., 2016; Chaudhary e Singh, 2019). Entretanto, a expressão contínua das proteínas de Bt impõe uma forte pressão de seleção nas populações das pragas, favorecendo a evolução da resistência (Carrière et al., 2010; Bernardi et al., 2014, 2015 a, b)

Por essas razões, a busca de alternativas de controle para um programa de manejo integrado de pragas (MIP) é importante, tais como a aplicação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e silício (Si) no solo para um melhor desenvolvimento das plantas e indução de resistência e tolerância a insetos (Debona et al., 2017; Alhousari e Greger, 2018; Higo et al., 2019; Schoenherr et al., 2019). A tolerância ocorre quando uma planta é menos danificada que os demais em condições iguais de infestação pelos herbívoros, sem que haja efeito no comportamento ou na biologia desses. A planta 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 (Boiça Júnior et al., 2018; Baldin et al., 2019; Stout et al., 2020).

Vários estudos demonstraram que a biota do solo desempenha um papel importante na produtividade de diversas culturas (Bender e Van der Heijden, 2015; Zhang et al., 2019). Entre esses microrganismos, os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) do filo Glomeromycota são essenciais para as culturas agrícolas (Xiao et al., 2019). Os FMA são simbioses obrigatórios, encontrados em diversos tipos de solo (Jansa et al., 2009; Bernaola et al., 2018) e compartilham uma longa história de

coevolução com as plantas em vários ecossistemas (Gosling et al., 2006). Os FMAs formam associações mutualísticas com as raízes de 80% das plantas terrestres, incluindo importantes culturas agrícolas tais como milho e soja (Brundrett, 2002; Smith e Read, 2008; Zubek et al., 2016). A associação é benéfica para ambos, os FMAs ajudam as plantas na absorção de nutrientes e água do solo, e em troca recebem carbono assimilado pela fotossíntese (Johnson et al., 1997; Cardoso e Kuyper, 2006; Smith e Read, 2008; Currie et al., 2011; Barber et al., 2013; Luginbuehl et al., 2017). Com uma maior absorção de nutrientes e água, as plantas são capazes de aumentar o crescimento e resistência aos estresses abióticos (Abdel et al., 2016; Moradtalab et al., 2019) e bióticos, incluindo ao ataque de insetos que se alimentam da raiz e da parte aérea (Gange, 2001; Pozo e Azcon-Aguilar, 2007; Smith e Read, 2008; Campos-Soriano et al., 2011; Vannette e Hunter, 2011; Schoenherr et al., 2019).

Além disso os FMAs podem alterar o metabolismo secundário das plantas (Hohnjec et al., 2005; Walker et al., 2012), como aumentar as concentrações de hormônios endógenos que pode influenciar na alimentação e desenvolvimento dos insetos herbívoros (Nishida et al., 2010; Gao et al., 2014; Tomczak et al., 2016), e também alterar a concentração e composição dos terpenóides liberados que alteram a atratividade da planta e o comportamento dos insetos (Copetta et al., 2006; Khaosaad et al., 2006; Kapoor et al., 2007; Rapparini et al., 2008; Schausberger et al., 2012; Babikova et al., 2014; Shrivastava et al., 2015; Ulhoa et al., 2020). Podem também ter um efeito indireto atraindo predadores e parasitoides da praga e efeito direto repelindo as pragas (Gange et al., 2003; Guerrieri et al., 2004; Laird e Addicott, 2007).

Plantas colonizadas por FMAs também podem ser mais atraentes e suscetível a insetos-pragas e patógenos (Roger et al., 2013) ou não ter nenhum efeito (He et al., 2017). Alguns estudos apontam uma tendência de insetos mastigadores polívoros serem afetados negativamente e insetos mastigadores monófagos serem afetados positivamente (Koricheva et al., 2009). Entender as interações entre plantas, FMAs e insetos, são importantes para o MIP, pois os FMAs podem não só aumentar a produtividade das culturas, mas também induzir respostas de defesa (Nogales et al., 2009; Pozo et al., 2015).

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre (28%), atrás apenas do oxigênio em abundância (Richmond e Sussman, 2003; Epstein, 2009). As plantas absorvem esse elemento somente como ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ) que é formado no solo quando o pH está abaixo de 9 (Paye et al., 2018).

Ao atingir os espaços intercelulares e paredes celulares da epiderme das plantas, o silício é polimerizado e depositado como sílica amorfa ( $SiO_2 \cdot nH_2O$ ) (Meena et al., 2014). Com isso é formado uma barreira mecânica (Massey e Hartley, 2009), que torna os tecidos das plantas mais resistentes e dificulta a alimentação e digestão dos insetos herbívoros (Alhousari e Greger, 2018). Além disso, o ácido monossilícico absorvido, podem também induzir as defesas das plantas através de processos fisiológicos e bioquímicos (Ma et al., 2004; Liang et al., 2015). O Si pode desencadear a produção de fitohormônios promotores de resistência, enzimas defensivas e voláteis que repelem os insetos herbívoros e atraem seus inimigos naturais (Gomes et al. 2005; Ranger et al., 2009; Kvedaras et al., 2010; Peixoto et al., 2011; Reynolds et al. 2016).

O Si não é um elemento considerado essencial fisiologicamente para o desenvolvimento das plantas, mas há diversos relatos que esse elemento é benéfico para as plantas. Além de aumentar a resistência aos estresses bióticos, esse elemento ajuda as plantas a resistirem à seca (Chen et al., 2011), à salinidade (Liu et al., 2015) e à deficiência ou à toxicidade mineral (Farooq et al., 2016). Pode aumentar a qualidade e a fertilidade do solo e a eficiência do uso de fertilizantes na agricultura (Agostinho, 2016). A deposição de Si nos tecidos vegetais torna as folhas mais eretas, diminuindo o sombreamento e aumentando a fotossíntese (Epstein, 1994). Portanto, as culturas tratadas com Si podem ter uma melhora no desenvolvimento e na produtividade no campo (Walsh et al., 2018). A fonte de Si pode ser adquirida pelos produtores por um preço relativamente barato e esse elemento não deixa resíduos tóxicos nos alimentos e no meio ambiente (Ukwungwu, 1990). A aplicação desse elemento e microrganismos benéficos podem ser integrados a outros métodos de controle como o cultural, o químico e o biológico no MIP.

Como citado acima, sabe-se que o silício e a colonização micorrízica afetam a resistência a herbívoros e o desenvolvimento das plantas de forma independente. No entanto, existem poucos estudos sobre os efeitos interativos desses dois fatores nas

culturas do milho e da soja. Diante disso, os objetivos desse trabalho foram avaliar os efeitos da aplicação de FMAs e silício no solo individualmente e em associação, no desenvolvimento e tolerância de soja e milho a *S. frugiperda* em casa de vegetação e de soja aos diferentes insetos-praga no campo.

## **2. Material e métodos**

Os experimentos foram realizados no laboratório de resistência de plantas a insetos da Entomology Department, Life Sciences Building, Louisiana State University (LSU AgCenter), em casa de vegetação e em campo da Ben Hur Research Farm (LSU AgCenter), Baton Rouge, Louisiana, Estados Unidos.

### **2.1. Plantas**

Nos experimentos em casa de vegetação foi testado os genótipos comerciais de soja (UA5414RR) e milho (Silver Queen Hybrid). Nos experimentos de campo foi testado somente o genótipo de soja UA5414RR.

Em casa de vegetação as plantas foram cultivadas em vasos de polietileno de 2 L de volume (15 cm de diâmetro no topo, 12 cm de diâmetro no fundo e 15 cm de profundidade) contendo solo, areia e turfa, na proporção de 2:1:1, respectivamente. Foi feito o plantio de três sementes de soja ou milho por vaso. Uma semana após a emergência das plântulas, foi feito o desbaste para uma planta por vaso de tamanho semelhante. Após duas semanas de plantio foi feito a adubação com nitrogênio, fosforo e potássio (NPK), a irrigação das plantas nos vasos foi realizada a cada 2 dias de forma manual utilizando uma mangueira.

### **2.2. Insetos**

As lagartas de *S. frugiperda* utilizadas nos experimentos de casa de vegetação foram provenientes de uma colônia mantida em laboratório no Department of Entomology, Life Sciences Building, LSU AgCenter. Para manter a variabilidade genética e o vigor da colônia, anualmente foi coletado lagartas de *S. frugiperda* em lavouras de arroz próximo a Cowley, Louisiana, Estados Unidos. Os insetos foram

mantidos e criados em sala climatizada com temperatura de  $28 \pm 2^\circ\text{C}$ , umidade relativa de  $70 \pm 10\%$  e fotoperíodo de 14C: 10E.

A dieta usada para a criação das lagartas foi uma formulação comercial preparada especificamente para esta espécie (Southland Products Incorporated, Lake Village, Arkansas, Estados Unidos). Ao atingir a fase pupal, as pupas foram transferidas para baldes de 15 litros, coberta por tecido “voile” na parte superior, contendo vermiculita no fundo, papel de seda para substrato de oviposição e dois rolos dentais embebidos em uma solução (150 ml de mel, 150 ml de cerveja, 300 ml de água e 12 g de ácido ascórbico) e coberto com gaze. Após a emergência, os adultos acasalaram, e as fêmeas ovipositaram no papel de seda. As posturas foram transferidas diariamente para bandeijas de 8 células seladas (Bio-Serv, Frenchtown, New Jersey, Estados Unidos) contendo algodão umedecido.

Quando as lagartas eclodiram, elas foram individualizadas em pequenos potes plásticos de 70 mL, contendo a mesma dieta artificial no fundo, como previamente descrito, até o uso nos ensaios de alimentação em casa de vegetação.

### 2.3. Fungos micorrízicos arbusculares

Nos experimentos em casa de vegetação e campo foi usado um inóculo comercial granular com 300 propágulos/g de uma espécie de endomicorriza *Rhizophagus irregularis* (Blaskowski, Wubet, Renker e Buscot, 2009) (Glomerales: Glomeraceae) para promover a simbiose nas raízes de milho e soja (Premium Mycorrhizal Inoculant, WOW Wallace Organic Wonder, Coventry, Rhode Island, Estados Unidos).

No experimento em campo foi feito o tratamento de sementes de soja com um inóculo comercial líquido de quatro espécies de endomicorrizas: *R. irregularis*, *Funneliformis mosseae* (Nicolson e Gerd, 1968) (Glomerales: Glomeraceae), *Glomus aggregatum* (Schenck e Smith, 1982) (Glomerales: Glomeraceae) *Claroideoglomus etunicatum* (Becker e Gerd, 1977) (Glomerales: Claroideoglomeraceae). No produto cada espécie continha 5.625 propágulos/ml, totalizando 22.500 propágulos/ml de todas as espécies (EndoFuse, Mycorrhizal Applications LLC, Grants Pass, Oregon,

Estados Unidos). Para o tratamento das sementes foi usado a dose de 3,85 ml /140.000 sementes.

## 2.4. Silício

A fonte de silício (Si) usada para os experimentos em casa de vegetação e campo foi um produto comercial contendo o minério volastonita processado por trituração, secagem e moagem (Vansil ® W-10, Vanderbilt Minerals LLC, Norwalk, Connecticut, Estados Unidos). A granulometria do produto é 19% a 200 mesh e 81% entre 200 e 325 mesh. Esse mineral é um silicato de cálcio ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) com massa molar de 116,16 g/mol e possui 24% de Si.

## 2.5. Experimento em casa de vegetação

Nos tratamentos com silício (Si), foi aplicado por cobertura em cada vaso 10 g de volastonita (equivalente a 5 toneladas/ha). Após a adição do minério, todos os vasos foram irrigados e posteriormente foi feito o plantio do milho e da soja como descrito no item 2.1. Nos tratamentos com fungo micorrízico arbuscular, foi adicionado e misturado no solo 8 g do inóculo granular de *R. irregulares* (FMA-G). Após a mistura do inoculante no solo, foi adicionado 1 g de FMA-G no orifício de plantio de cada semente. Dessa forma a semente ficava por cima do inoculante, fazendo com que o FMA-G tivesse contato com as raízes das plântulas ao germinarem.

Para avaliar o desenvolvimento e tolerância das plantas foram feitos danos mecânicos e infestações com lagartas de *S. frugiperda*. Plantas controle (sem danos) foram mantidas para avaliar o desenvolvimento e serem usadas como testemunha. O dano foi feito com a utilização de tesoura, com o corte de 80% de todas as folhas de soja, restando apenas 20% de área foliar. Em todas as plantas de soja e milho, foram feitos quatro tratamentos: 1) Controle (sem FMA-G e Si); 2) Si; 3) FMA-G; 4) FMA-G + Si.

O dano mecânico das plantas de soja foi realizado 30 dias após o plantio (DAP) e das plantas de milho 15 DAP. Poucas horas antes do dano mecânico, foi feito a contagem do número de trifólios na soja, folhas no milho e a medição da parte aérea

das plantas de soja e milho. Nas plantas de milho o dano foi feito com o corte de toda a planta a 5 cm do solo. Após 15 dias do dano mecânico, foi avaliada a recuperação das plantas, fazendo a contagem do número de trifólios novos da soja, folhas novas do milho, comprimento e peso seco da raiz e parte aérea. Nas plantas de soja e milho sem danos (controle) foram avaliados os mesmos parâmetros das plantas com dano mecânico. Para fazer a pesagem das plantas (peso seco), o milho com 30 DAP e a soja com 45 DAP foram retiradas com cuidado dos vasos, em seguida as plantas foram limpas com água corrente, colocadas dentro de envelopes de papel tipo kraft e mantidas por 7 dias em forno de secagem.

Para avaliar a porcentagem de desfolha e o desenvolvimento de lagartas de *S. frugiperda* alimentadas com as plantas tratadas com Si e FMA, plantas de soja foram infestadas com 30 DAP e plantas de milho com 15 DAP. Antes da infestação, as lagartas ficaram de jejum por 3 horas para esvaziar o intestino, depois foram pesadas para obter o peso inicial. Foi colocado uma lagarta de *S. frugiperda* com 5 dias (3º instar) por planta, os insetos foram deixados nas plantas de soja para se alimentarem durante 6 dias e nas plantas de milho durante 4 dias. Para manter os insetos nas plantas, gaiolas cilíndricas feitas de cano PVC e tela antiafídica foram colocados nos vasos com as plantas. Após a retirada dos insetos das plantas, foi avaliada a porcentagem de desfolha e as lagartas foram pesadas novamente, após outro jejum de 3 horas, para obter o peso final. Com os dados de peso inicial (PI), peso final (PF) e o número de dias que as lagartas se alimentaram na planta (ND), foi calculado o ganho de peso (GP), peso médio (PM) e a taxa de crescimento relativo (RGR) das lagartas. O RGR foi calculado pela fórmula:  $(GP)/(PM \times ND)$ , onde  $GP=PF-PI$  e  $PM=(PF+PI)/2$ .

## 2.6. Quantificação da colonização micorrízica nas raízes

Para confirmar que as raízes das plantas de soja e milho tratadas com o FMA-G estavam colonizadas por *R. irregulares*, foi feita a contagem e observação de estruturas do fungo (arbúsculos e vesículas) em microscópio no laboratório. A colonização foi avaliada após os experimentos em casa de vegetação (plantas de soja com 45 dias e plantas de milho com 30 dias).

Para a coloração da raiz e do fungo foi usado o método de Azul de Tripiano de Koske e Gemma (1989). Foram coletadas amostras de raízes de três plantas de soja e milho de cada tratamento. As raízes foram lavadas para remover todas as partículas do solo e em seguida foi retirado fragmentos finos de raízes de 2 cm de comprimento como amostragem. As amostras das raízes foram postas em cassetes de processamento de tecido (Ted Pella Inc, Redding, Califórnia, Estados Unidos), e posteriormente colocadas em 10% KOH a 90° C por 20 minutos, para a eliminação de impurezas.

As raízes limpas foram enxaguadas 5 vezes com água, para remover o KOH, e foram imersas em 2% HCl em temperatura ambiente por 20 minutos para a acidificação, que é necessário para a coloração. Imediatamente os cassetes contendo as raízes foram coradas com azul de tripano 0,05% (SigmaAldrich, St. Louis, Missouri, Estados Unidos) por incubação durante a noite e então transferidos para frascos contendo a solução lactoglicerol a 4° C para evitar a descoloração.

As amostras de raízes coradas foram armazenadas em lactoglicerol por 48 horas antes de ser montado as lâminas na mesma solução. Para quantificar as estruturas do fungo nas raízes de soja e milho, dez fragmentos de raiz de 2 cm de comprimento foram montados paralelamente em cada lâmina. Foi feito a contagem do número de arbúsculos e vesículas de cada fragmento em dez lâminas por tratamento (100 repetições), em um microscópio composto (Olympus, CH2, Tóquio, Japão) com ampliação de 40 vezes. Fragmentos de raiz que também continham outras estruturas, como hifas e esporos de *R. irregulares*, foram também considerados colonizados pelo fungo.

## 2.7. Experimento em campo

O plantio da soja foi feito no dia 7 maio de 2020, com os seguintes tratamentos: 1) Controle (sem FMA e Si); 2) Silício (Si); 3) Tratamento de semente com inóculo líquido dos fungos micorrízicos *R. irregulares*, *F. mosseae*, *G. aggregatum* e *C. etunicatum* (FMA-TS); 4) Inóculo granular do fungo micorrízico *R. irregulares* (FMA-G); 5) FMA-TS + Si; 6) FMA-G + Si; 7) FMA-TS + FMA-G.

Os tratamentos foram distribuídos em parcelas retangulares com 9,15 m de comprimento e 1,50 m de largura, a área de cada parcela foi de 13,73 m<sup>2</sup>. O espaçamento entre as plantas foi de 3,8 cm e entre linhas de 50 cm. Em cada parcela foi feito o plantio de 960 sementes e 240 sementes por linha (total de 4 linhas por parcela). Cada tratamento possuía 4 repetições, totalizando 28 parcelas distribuídas de forma aleatória.

Para o plantio, 240 sementes foram colocadas em cada envelope (112 envelopes no total), a plantadeira disponível exigia esse procedimento para distribuição uniforme das sementes e do FMA-G no sulco de plantio. Foi usado uma plantadeira sem adubadeira, os inóculos granuladas caíram no solo junto com as sementes. Nos tratamentos com FMA-G, foi colocado 45 g do produto nos envelopes junto com as sementes e nos tratamentos com FMA-TS as sementes foram tratadas. Foi aplicado em cobertura 4,5 kg de volastonita (equivalente a 5 toneladas/ha) em cada parcela para avaliar a influência do Si. Os FMA e a volastonita (Si) foram aplicados no momento do plantio.

Foi feito a contagem do número de plantas na segunda e terceira fileira de cada parcela aos 14 e 28 dias após o plantio (DAP). Foi feito a medição da altura e estágio fenológico de 5 plantas aleatórias por parcela, aos 14, 28, 35, 42 e 54 DAP. Foi realizado o levantamento das espécies de insetos-praga com o uso de rede entomológica aos 63 e 77 DAP em cada parcela. Após a colheita foi avaliado a qualidade de 450 sementes por parcela, totalizando 1800 por tratamento. Observando a presença de danos mecânicos, coloração, sintomas de patógenos, presença de fungos, picada de percevejo, formato, peso e a umidade das sementes.

## **2.8. Análise Estatística**

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias, pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene, respectivamente. Nos experimentos de casa de vegetação o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e 15 repetições para a soja e o milho. Na quantificação de micorrizas nas raízes foram 100 repetições para cada tratamento (contagem em 10 fragmentos de raízes em 10 lâminas). Nos

experimentos de campo com soja foi o delineamento em blocos casualizados, com 7 tratamentos e 8 repetições para a contagem do número de plantas por fileira (2 fileiras em 4 parcelas); 20 repetições para contabilizar a altura e o estágio fenológico das plantas (5 plantas em 4 parcelas); 4 repetições para o levantamento de insetos (1 coleta em 4 parcelas) e 18 repetições para a análise de sementes (18 amostras de 100 sementes, totalizando 1800 sementes por tratamento). Todos os parâmetros foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e Teste F, sendo a comparação entre as médias dos tratamentos feita pelo teste de Tukey (5%). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SAS® versão 9.4 (SAS Institute, 2013).

### **3. Resultados**

#### **3.1. Experimento em casa de vegetação**

Nos experimentos em casa de vegetação, as plantas de soja com 30 dias após o plantio (DAP) sem danos (controle) tratadas com FMA-G + Si e FMA-G tiveram significativamente maior média de trifólios ( $F=11,67$ ;  $p < 0,0001$ ) e comprimento da parte aérea ( $F=6,33$ ;  $p= 0,0090$ ) em relação as plantas controle e as tratadas unicamente com Si. Aos 45 DAP, nos vasos que foram aplicados somente FMA-G as plantas tiveram maior número de trifólio, média de 12,47 ( $F= 5,35$ ;  $p= 0,0026$ ) e maior comprimento da parte aérea (126,47 cm). Onde foi aplicado a mistura de FMA-G e Si o comprimento da parte aérea também foi significativamente maior (média de 125,67 cm) em relação ao controle e ao Si ( $F= 3,37$ ;  $p= 0,0248$ ). Esses dois tratamentos também resultaram em plantas significativamente com maiores pesos secos na raiz ( $F= 9,55$ ;  $p < 0,0001$ ) e parte aérea ( $F= 13,70$ ;  $p < 0,0001$ ) em relação ao controle e Si. Os tratamentos FMA-G + Si e FMA-G proporcionaram médias de peso da raiz de 0,92 g e 0,97 g e peso da parte aérea de 4,61 g e 5,13 g, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Média ( $\pm$  EP) de trifólios (NT), comprimento da parte aérea (CPA), peso seco da raiz (R) e parte aérea (PA) de plantas de soja sem danos (controle) aos 30 e 45 dias após o plantio (DAP). Tratamentos (T): 1) Controle; 2) Silício (Si); 3) Inóculo granular de *Rhizophagus irregularis* (FMA-G); 4) FMA-G + Si.

T	30 DAP		45 DAP		Peso seco	
	NT (n°)	CPA (cm)	NT (n°)	CPA (cm)	R (g)	PA (g)
1	5,00 $\pm$ 0,24b	46,60 $\pm$ 3,63ab	10,47 $\pm$ 0,54ab	120,73 $\pm$ 4,37ab	0,70 $\pm$ 0,05b	3,63 $\pm$ 0,30bc
2	4,60 $\pm$ 0,21b	40,13 $\pm$ 2,53b	9,33 $\pm$ 0,57b	107,47 $\pm$ 6,46b	0,68 $\pm$ 0,06b	2,80 $\pm$ 0,28c
3	6,20 $\pm$ 0,26a	55,20 $\pm$ 2,36a	12,47 $\pm$ 0,69a	126,47 $\pm$ 3,88a	0,97 $\pm$ 0,03a	5,13 $\pm$ 0,26a
4	5,87 $\pm$ 0,13a	52,00 $\pm$ 1,55a	10,13 $\pm$ 0,48b	125,67 $\pm$ 3,98a	0,92 $\pm$ 0,05a	4,61 $\pm$ 0,27ab
F	11,67	6,33	5,35	3,37	9,55	13,70
p	<0,0001	0,0090	0,0026	0,0248	<0,0001	<0,0001

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Em plantas com dano mecânico prévio (retirada de 80% das folhas) não houve diferença significativa no comprimento da parte aérea e peso seco da raiz entre os tratamentos. No entanto, houve diferença significativa no número de trifólios antes (30 DAP) ( $F = 5,65$ ;  $p = 0,0019$ ) e depois (45 DAP) ( $F = 4,83$ ;  $p = 0,0047$ ) do dano mecânico, com maiores valores, no tratamento FMA+G + Si. Foi observado também diferença no peso seco da parte aérea ( $F = 11,64$ ;  $p < 0,0001$ ), com maior índice, no tratamento FMA+G + Si. Em vasos com aplicação de FMA-G + Si as plantas tiveram um maior volume de folhas antes (média de 5,40 trifólios) e depois do dano (6,20). Demonstrando que as plantas com esse tratamento se recuperaram melhor ao corte das folhas em comparação com o controle (média de 3,87 trifólios). Diante disso, a média do peso seco das plantas com FMA-G + Si foram significativamente maiores (2,15 g) em relação as plantas controle (1,13 g) e as tratadas com apenas Si (1,36 g) (Tabela 2).

Tabela 2. Média ( $\pm$  EP) de trifólios (NT), comprimento da parte aérea (CPA), peso seco da raiz (R) e parte aérea (PA) de plantas de soja com dano mecânico aos 30 e 45 dias após o plantio (DAP). Tratamentos (T): 1) Controle; 2) Silício (Si); 3) Inóculo granular de *Rhizophagus irregularis* (FMA-G); 4) FMA-G + Si.

T	30 DAP		45 DAP		Peso seco	
	NT (n°)	CPA (cm)	NT (n°)	CPA (cm)	R (g)	PA (g)
1	4,40 $\pm$ 0,19b	34,93 $\pm$ 1,36a	3,87 $\pm$ 0,35b	45,67 $\pm$ 2,76a	0,42 $\pm$ 0,03a	1,13 $\pm$ 0,10c
2	4,40 $\pm$ 0,19b	36,93 $\pm$ 1,54a	5,07 $\pm$ 0,50ab	51,27 $\pm$ 3,52a	0,49 $\pm$ 0,03a	1,36 $\pm$ 0,13bc
3	4,80 $\pm$ 0,17ab	32,67 $\pm$ 0,88a	5,07 $\pm$ 0,51ab	42,00 $\pm$ 1,12a	0,47 $\pm$ 0,05a	1,75 $\pm$ 0,17ab
4	5,40 $\pm$ 0,23a	34,73 $\pm$ 1,87a	6,20 $\pm$ 0,34a	43,80 $\pm$ 1,95a	0,54 $\pm$ 0,04a	2,15 $\pm$ 0,12a
F	5,65	1,43	4,83	2,57	1,83	11,64
p	0,0019	0,2450 <sup>ns</sup>	0,0047	0,0637 <sup>ns</sup>	0,1517 <sup>ns</sup>	<0,0001

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). ns (não significativo).

Em relação ao desenvolvimento de *S. frugiperda* alimentadas com plantas de soja, não houve diferença entre os tratamentos no ganho de peso (GP), peso médio (PM) e taxa de crescimento relativo (RGR) das lagartas. Porém, é importante destacar que as plantas que foram tratadas com a mistura de silício e micorrizas tiveram as menores médias de GP (228,76 mg), PM (124,05 mg) e RGR (0,3017 mg/mg/dia). Além disso, as plantas com esse tratamento (FMA-G + Si) tiveram significativamente a menor área foliar consumida pelas lagartas por 6 dias (19,33 %), seguidas em ordem crescente por FMA-G (29,64 %), Si (32,00%) e controle com a maior porcentagem de desfolha por *S. frugiperda* (40,71%) ( $F = 9,13$ ;  $p < 0,0001$ ) (Tabela 3).

Tabela 3. Média ( $\pm$  EP) do ganho de peso (GP), peso médio (PM), taxa de crescimento relativo (RGR) das lagartas (*Spodoptera frugiperda*) e porcentagem de desfolha (D) de plantas de soja infestadas com *S. frugiperda*. Tratamentos (T): 1) Controle; 2) Silício (Si); 3) Inóculo granular de *Rhizophagus irregularis* (FMA-G); 4) FMA-G + Si.

T	GP (mg)	PM (mg)	RGR (mg/mg/dia)	D (%)
1	267,65 $\pm$ 26,41a	143,14 $\pm$ 13,08a	0,3084 $\pm$ 0,0029a	40,71 $\pm$ 2,96a
2	262,99 $\pm$ 20,20a	140,79 $\pm$ 10,14a	0,3094 $\pm$ 0,0021a	32,00 $\pm$ 3,30ab
3	311,54 $\pm$ 21,09a	164,88 $\pm$ 10,82a	0,3143 $\pm$ 0,0011a	29,64 $\pm$ 1,70bc
4	228,76 $\pm$ 22,47a	124,05 $\pm$ 11,35a	0,3017 $\pm$ 0,0056a	19,33 $\pm$ 3,27c
F	2,25	2,16	2,29	9,13
p	0,0929 <sup>ns</sup>	0,1028 <sup>ns</sup>	0,0885 <sup>ns</sup>	<0,0001

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). ns (não significativo).

Em plantas de milho sem danos (controle) com 15 DAP e 30 DAP não houve diferença no número de folhas e peso seco da parte aérea entre os tratamentos. No entanto, houve diferença significativa no comprimento da parte aérea aos 15 DAP ( $F=4,52$ ;  $p=0,0086$ ), aos 30 DAP ( $F=3,46$ ;  $p=0,0262$ ) e no peso seco das raízes ( $F=3,32$ ;  $p=0,0305$ ). Nos vasos que foram aplicados apenas a volastonita (Si) as plantas de milho com 15 dias tiveram a maior média de altura (CPA de 60,80 cm). Aos 30 DAP as plantas tratadas com apenas FMA tiveram o maior comprimento da parte aérea (média de 102,20 cm), seguidos em ordem decrescente por FMA-G + Si (99,80 cm), Si (95,70 cm) e controle com apenas 91,90 cm. O tratamento apenas com adubação de Si apresentou plantas com um maior peso seco de raiz (0,82 g), seguidos pela aplicação de FMA-G e Si (0,71 g), de apenas FMA-G (0,65 g) e sem a aplicação de FMA-G e Si com 0,56 g de peso de raiz (Tabela 4).

Tabela 4. Média ( $\pm$  EP) de folhas (NF), comprimento da parte aérea (CPA), peso seco da raiz (R) e parte aérea (PA) de plantas de milho sem danos (controle) aos 15 e 30 dias após o plantio (DAP). Tratamentos (T): 1) Controle; 2) Silício (Si); 3) Inóculo granular de *Rhizophagus irregularis* (FMA-G); 4) FMA-G + Si.

T	15 DAP		30 DAP		Peso seco	
	NF (n°)	CPA (cm)	NF (n°)	CPA (cm)	R (g)	PA (g)
1	4,10 $\pm$ 0,10a	56,70 $\pm$ 1,33ab	7,10 $\pm$ 0,10a	91,90 $\pm$ 1,95b	0,56 $\pm$ 0,04b	1,84 $\pm$ 0,16a
2	4,40 $\pm$ 0,16a	60,80 $\pm$ 1,71a	7,30 $\pm$ 0,15a	95,70 $\pm$ 1,49ab	0,82 $\pm$ 0,08a	2,00 $\pm$ 0,12a
3	4,40 $\pm$ 0,16a	53,40 $\pm$ 1,49b	7,50 $\pm$ 0,17a	102,20 $\pm$ 2,53a	0,65 $\pm$ 0,06ab	2,03 $\pm$ 0,11a
4	4,50 $\pm$ 0,17a	54,00 $\pm$ 1,77b	7,00 $\pm$ 0,15a	99,80 $\pm$ 3,38ab	0,71 $\pm$ 0,06ab	2,00 $\pm$ 0,14a
F	1,32	4,52	2,36	3,46	3,32	0,41
p	0,2839 <sup>ns</sup>	0,0086	0,0877 <sup>ns</sup>	0,0262	0,0305	0,7466 <sup>ns</sup>

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). ns (não significativo).

Em plantas de milho com dano mecânico prévio (corte de toda a planta a 5 cm do solo) não houve diferença entre os tratamentos no comprimento da parte aérea (altura) e número de folhas antes (15 DAP) e depois (30 DAP) do dano. No entanto, houve diferença significativa no peso seco de raiz ( $F=6,43$ ;  $p=0,0013$ ) e parte aérea ( $F=4,13$ ;  $p=0,0129$ ) entre os diferentes tratamentos. Foi observado que as plantas danificadas mecanicamente tratadas apenas com silício (volastonita) apresentaram a maior média de peso das raízes (0,33 g) aos 30 DAP. Nas plantas que não foram aplicados Si e FMA-G (controle) foi visto um maior peso de caule e folhas (0,91 g) seguidos por Si (0,86 g), FMA-G + Si (0,69 g) e FMA-G (0,61 g) (Tabela 5).

Tabela 5. Média ( $\pm$  EP) de folhas (NF), comprimento da parte aérea (CPA), peso seco da raiz (R) e parte aérea (PA) de plantas de milho com dano mecânico aos 15 e 30 dias após o plantio (DAP). Tratamentos (T): 1) Controle; 2) Silício (Si); 3) Inóculo granular de *Rhizophagus irregulares* (FMA-G); 4) FMA-G + Si.

T	15 DAP		30 DAP		Peso seco	
	NF (n°)	CPA (cm)	NF (n°)	CPA (cm)	R (g)	PA (g)
1	4,40 $\pm$ 0,16a	59,70 $\pm$ 1,49a	4,00 $\pm$ 0,00a	74,50 $\pm$ 3,45a	0,29 $\pm$ 0,02ab	0,91 $\pm$ 0,09a
2	4,40 $\pm$ 0,16a	54,60 $\pm$ 1,27a	4,00 $\pm$ 0,00a	74,80 $\pm$ 2,22a	0,33 $\pm$ 0,03a	0,86 $\pm$ 0,05ab
3	4,20 $\pm$ 0,13a	55,90 $\pm$ 1,49a	3,60 $\pm$ 0,16a	69,00 $\pm$ 3,81a	0,19 $\pm$ 0,02c	0,61 $\pm$ 0,07b
4	4,20 $\pm$ 0,13a	54,60 $\pm$ 1,89a	3,70 $\pm$ 0,15a	69,20 $\pm$ 3,81a	0,24 $\pm$ 0,02bc	0,69 $\pm$ 0,06ab
F	0,60	2,43	3,40	0,90	6,43	4,13
p	0,6192 <sup>ns</sup>	0,0815 <sup>ns</sup>	0,0280 <sup>ns</sup>	0,4518 <sup>ns</sup>	0,0013	0,0129

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). ns (não significativo).

No desenvolvimento biológico de *S. frugiperda* alimentadas com plantas de milho, não houve diferença entre os tratamentos no ganho de peso (GP), peso médio (PM), taxa de crescimento relativo (RGR) das lagartas e porcentagem de desfolha. Entretanto, as plantas que foram tratadas com silício individualmente e/ou em conjunto com o fungo micorrizico arbuscular, tiveram as menores médias respectivamente de GP (149,43 e 153,38 mg), PM (83,58 e 85,66 mg) e RGR (0,2969 e 0,2963 mg/mg/dia). Além disso, nas plantas que foram aplicados o Si, foi observado a menor média de área foliar consumida, com 45,71% de desfolha (Tabela 6).

Tabela 6. Média ( $\pm$  EP) do ganho de peso (GP), peso médio (PM), taxa de crescimento relativo (RGR) das lagartas (*Spodoptera frugiperda*) e porcentagem de desfolha (D) de plantas de milho infestadas com *S. frugiperda*. Tratamentos (T): 1) Controle; 2) Silício (Si); 3) Inóculo granular de *Rhizophagus irregulares* (FMA-G); 4) FMA-G + Si.

T	GP (mg)	PM (mg)	RGR (mg/mg/dia)	D (%)
1	168,48 $\pm$ 12,35a	93,08 $\pm$ 6,16a	0,3005 $\pm$ 0,0023a	50,83 $\pm$ 6,33a
2	149,43 $\pm$ 10,38a	83,58 $\pm$ 5,38a	0,2969 $\pm$ 0,0017a	45,71 $\pm$ 4,16a
3	157,07 $\pm$ 15,05a	87,19 $\pm$ 7,58a	0,2977 $\pm$ 0,0026a	63,57 $\pm$ 7,38a
4	153,38 $\pm$ 12,65a	85,66 $\pm$ 6,60a	0,2963 $\pm$ 0,0029a	64,62 $\pm$ 6,37a
F	0,39	0,37	0,53	2,36
p	0,7583 <sup>ns</sup>	0,7723 <sup>ns</sup>	0,6646 <sup>ns</sup>	0,0828 <sup>ns</sup>

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). ns (não significativo).

Para confirmar que as raízes das plantas de soja e milho tratadas com o FMA-G estavam colonizadas por *R. irregulares*, foi feito a contagem das estruturas do fungo em microscópio (arbúsculos e vesículas). Nas plantas sem a aplicação do inóculo

(controle e Si) não foi observado nenhuma estrutura. No entanto, nas plantas de milho e soja tratadas com o inóculo granular de *R. irregulares* (FMA-G e FMA-G + Si) foram observados a presença de uma grande quantidade de arbúsculos e vesículas nas raízes (Tabela 7).

Tabela 7. Média ( $\pm$  EP) de arbúsculos e vesículas em raízes de milho e soja. Tratamentos (T): 1) Controle; 2) Silício (Si); 3) Inóculo granular de *Rhizophagus irregulares* (FMA-G); 4) FMA-G + Si.

T	Milho		Soja	
	arbúsculos	vesículas	arbúsculos	vesículas
1	0,00 $\pm$ 0,00b	0,00 $\pm$ 0,00b	0,00 $\pm$ 0,00c	0,00 $\pm$ 0,00b
2	0,00 $\pm$ 0,00b	0,00 $\pm$ 0,00b	0,00 $\pm$ 0,00c	0,00 $\pm$ 0,00b
3	240,27 $\pm$ 49,32a	20,89 $\pm$ 5,47b	395,28 $\pm$ 28,98a	49,92 $\pm$ 7,14a
4	228,89 $\pm$ 37,10a	71,36 $\pm$ 12,41a	288,99 $\pm$ 42,65b	54,26 $\pm$ 6,48a
F	18,88	24,61	61,53	39,07
p	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### 3.2. Experimento em campo

Nos experimentos de campo, as plantas de soja com 14 dias após o plantio (DAP) tratadas com os dois tipos de inóculos de micorrizas (FMA-TS + FMA-G) tiveram significativamente a maior média de plantas germinadas e consolidadas por fileira (156,75), o tratamento com FMA-G + Si teve a menor média com 107, o restante dos tratamentos ficou com média entre 134,75 e 141,13 plantas por fileira ( $F = 2,23$ ;  $p = 0,0591$ ). Houve uma diminuição no número médio de plantas por fileira aos 28 DAP em todos os tratamentos, com isso não houve diferença na comparação entre eles. Comparando a média total de 14 DAP e 28 DAP, na parcela que foi aplicado FMA-TS + FMA-G continuou com a maior média de plantas estabelecidas por fileira (147) seguido pelo tratamento de semente com inóculo líquido de 4 espécies de fungos micorrizicos (FMA-TS) com média de 139,44 plantas. O tratamento com inóculo granular de *R. irregulares* (FMA-G) misturado com volastonita (Si) manteve a menor média de plantas por fileira, com apenas 103,94 ( $F = 3,61$ ;  $p = 0,0030$ ). Os tratamentos 1) controle; 2) Si; 4) FMA-G e 5) FMA-TS + Si ficaram com média total intermediária entre 129,13 e 132,69 não diferindo entre eles (Tabela 8).

Tabela 8. Média ( $n^\circ \pm EP$ ) de plantas de soja na segunda e terceira fileira de cada parcela. Tratamentos (T): 1) Controle; 2) Silício (Si); 3) Tratamento de semente com inóculo líquido de *Rhizophagus irregulares*, *Funneliformis mosseae*, *Glomus aggregatum* e *Claroideoglossum etunicatum* (FMA-TS); 4) Inóculo granular de *Rhizophagus irregulares* (FMA-G); 5) FMA-TS + Si; 6) FMA-G + Si; 7) FMA-TS + FMA-G.

T	Dias após o plantio (DAP)		Média total
	14 DAP	28 DAP	
1	134,88 $\pm$ 16,74 ab	123,38 $\pm$ 15,46 a	129,13 $\pm$ 11,10 ab
2	137,13 $\pm$ 8,79 ab	121,63 $\pm$ 7,69 a	129,38 $\pm$ 5,99 ab
3	141,13 $\pm$ 7,51 ab	137,75 $\pm$ 9,04 a	139,44 $\pm$ 5,69 a
4	137,25 $\pm$ 14,05 ab	127,88 $\pm$ 11,99 a	132,56 $\pm$ 9,00 ab
5	134,75 $\pm$ 11,76 ab	130,63 $\pm$ 10,08 a	132,69 $\pm$ 7,50 ab
6	107,00 $\pm$ 14,59 b	100,88 $\pm$ 12,05 a	103,94 $\pm$ 9,18 b
7	156,75 $\pm$ 14,52 a	137,25 $\pm$ 16,09 a	147,00 $\pm$ 10,77 a
F	2,23	1,41	3,61
p	0,0591	0,2330 <sup>ns</sup>	0,0030

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo.

As plantas de soja com 14 DAP e 42 DAP tratadas com os 7 tratamentos tiveram uma média de comprimento da parte aérea com pouca variação, portanto não houve diferença significativa. Entretanto aos 28 DAP houve variação significativa, onde foi aplicado apenas silício as plantas estavam com a maior média de altura (24,90 cm) e nas parcelas com FMA-G + Si as plantas apresentaram menor comprimento, com 20,83 cm ( $F = 2,78$ ;  $p = 0,0148$ ). Em 35 dias após o plantio, também houve discrepância entre os diferentes tratamentos, nas áreas que foram aplicados apenas o silício (Si) e o inóculo granular de *R. irregulares* (FMA-G) as plantas estavam maiores, com aproximadamente 8,6 cm mais altas que as plantas tratadas com a mistura de FMA-TS e FMA-G (média de altura de 33,18 cm) ( $F = 4,78$ ;  $p = 0,0002$ ). Em um estágio mais avançado, aos 54 DAP houve diferença na altura das plantas ( $F = 3,28$ ;  $p = 0,0052$ ). Onde foi adubado apenas Si teve a maior média com 74,70 cm e os tratamentos FMA-TS + Si e FMA-G + Si as menores, 66,75 cm e 65,70 cm, respectivamente (Tabela 9).

Tabela 9. Média de altura (cm  $\pm$  EP) de plantas de soja. Tratamentos (T): 1) Controle; 2) Silício (Si); 3) Tratamento de semente com inóculo líquido de *Rhizophagus irregulares*, *Funneliformis mosseae*, *Glomus aggregatum* e *Claroideoglomus etunicatum* (FMA-TS); 4) Inóculo granular de *Rhizophagus irregulares* (FMA-G); 5) FMA-TS + Si; 6) FMA-G + Si; 7) FMA-TS + FMA-G.

T	Dias após o plantio (DAP)				
	14 DAP	28 DAP	35 DAP	42 DAP	54 DAP
1	8,95 $\pm$ 0,38a	21,08 $\pm$ 1,27b	36,63 $\pm$ 1,32ab	45,70 $\pm$ 1,53a	72,58 $\pm$ 1,48ab
2	9,08 $\pm$ 0,50a	24,90 $\pm$ 1,34a	41,73 $\pm$ 1,25a	47,08 $\pm$ 2,02a	74,70 $\pm$ 2,18a
3	8,68 $\pm$ 0,40a	23,15 $\pm$ 1,42ab	39,15 $\pm$ 1,25ab	44,75 $\pm$ 1,63a	71,38 $\pm$ 2,02ab
4	8,73 $\pm$ 0,53a	23,78 $\pm$ 1,45ab	41,80 $\pm$ 1,46a	44,65 $\pm$ 2,32a	70,53 $\pm$ 2,67ab
5	8,43 $\pm$ 0,56a	23,88 $\pm$ 1,18ab	36,00 $\pm$ 1,54ab	44,80 $\pm$ 1,43a	66,75 $\pm$ 2,39b
6	7,95 $\pm$ 0,37a	20,83 $\pm$ 1,00b	36,50 $\pm$ 1,22ab	45,03 $\pm$ 2,26a	65,70 $\pm$ 2,02b
7	8,35 $\pm$ 0,40a	22,73 $\pm$ 0,89ab	33,18 $\pm$ 2,07b	47,43 $\pm$ 1,63a	70,88 $\pm$ 1,60ab
F	0,90	2,78	4,78	0,5	3,28
p	0,5003 <sup>ns</sup>	0,0148	0,0002	0,8095 <sup>ns</sup>	0,0052

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo.

Em relação a avaliação dos estádios fenológicos das plantas de soja, não foi visto variação significativa aos 14 DAP e aos 28 DAP entre os tratamentos. Porém nas áreas onde foi aplicado apenas o silício por cobertura foi observado plantas em estádios mais avançados. Em 14 dias após o plantio, 65 % das plantas de soja já estavam no estágio vegetativo V1 e em 28 DAP, 50% delas já tinham atingido o V5. Nas parcelas fertilizadas apenas com Si as plantas com 35 dias continuaram mais desenvolvidas, diferença significativa ocorreu entre os tratamentos em V7 ( $F= 3,15$ ;  $p= 0,0272$ ), onde 70 % das plantas estavam nesse estágio fenológico e 20% em V8, havendo também diferença entre os estádios no mesmo tratamento ( $F=18,67$ ;  $p < 0,0001$ ) (Tabela 10). Após 42 dias do plantio, as plantas de soja submetidas aos diferentes tratamentos não tiveram variação significativa em relação aos estádios V5, V6, V7, V8 e V9. A maioria das plantas estavam em V7, onde foi visto discrepância entre os estádios vegetativos no mesmo tratamento, em Si com 70 % ( $F=8,04$ ;  $p= 0,0022$ ), FMA-TS com 65% ( $F=15,55$ ;  $p= 0,0001$ ) e FMA-TS + FMA-G com 60% ( $F=12,27$ ;  $p= 0,0003$ ). Após 54 dias do plantio, todas as plantas estavam no estágio reprodutivo R2 e R3, não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos, a maioria das plantas estavam em R2, de 75% a 100% (Tabela 11).

Tabela 10. Média de porcentagem (%  $\pm$  EP) de plantas de soja em cada estágio fenológico (V = vegetativo) aos 14, 28, e 35 dias após o plantio (DAP). Tratamentos (T): 1) Controle; 2) Silício (Si); 3) Tratamento de semente com inóculo líquido de *Rhizophagus irregularis*, *Funneliformis mosseae*, *Glomus aggregatum* e *Claroideoglomus etunicatum* (FMA-TS); 4) Inóculo granular de *Rhizophagus irregularis* (FMA-G); 5) FMA-TS + Si; 6) FMA-G + Si; 7) FMA-TS + FMA-G.

T	14 DAP		28 DAP			35 DAP					
	V0	V1	V3	V4	V5	V3	V4	V5	V6	V7	V8
1	40,00 $\pm 16,33aA$	60,00 $\pm 16,33aA$	15,00 $\pm 9,57aA$	50,00 $\pm 17,32aA$	35,00 $\pm 15,00aA$	0,00 $\pm 0,00aA$	5,00 $\pm 5,00aA$	20,00 $\pm 14,14aA$	20,00 $\pm 8,16aA$	45,00 $\pm 17,08abA$	10,00 $\pm 5,77aA$
2	35,00 $\pm 22,17aA$	65,00 $\pm 22,17aA$	5,00 $\pm 5,00aA$	45,00 $\pm 20,61aA$	50,00 $\pm 20,82aA$	0,00 $\pm 0,00aB$	0,00 $\pm 0,00aB$	0,00 $\pm 0,00aB$	10,00 $\pm 10,00aB$	70,00 $\pm 10,00aA$	20,00 $\pm 0,00aB$
3	55,00 $\pm 22,17aA$	45,00 $\pm 22,17aA$	10,00 $\pm 5,77aA$	65,00 $\pm 17,08aA$	25,00 $\pm 18,93aA$	5,00 $\pm 5,00aA$	0,00 $\pm 0,00aA$	30,00 $\pm 10,00aA$	35,00 $\pm 12,58aA$	25,00 $\pm 15,00abA$	5,00 $\pm 5,00aA$
4	55,00 $\pm 22,17aA$	45,00 $\pm 22,17aA$	25,00 $\pm 12,58aA$	40,00 $\pm 16,33aA$	35,00 $\pm 23,63aA$	0,00 $\pm 0,00aA$	0,00 $\pm 0,00aA$	40,00 $\pm 23,09aA$	30,00 $\pm 17,32aA$	25,00 $\pm 18,93abA$	5,00 $\pm 5,00aA$
5	65,00 $\pm 22,17aA$	35,00 $\pm 22,17aA$	10,00 $\pm 5,77aA$	45,00 $\pm 17,08aA$	45,00 $\pm 20,62aA$	0,00 $\pm 0,00aA$	0,00 $\pm 0,00aA$	25,00 $\pm 18,93aA$	40,00 $\pm 14,14aA$	15,00 $\pm 5,00abA$	20,00 $\pm 8,16aA$
6	55,00 $\pm 20,62aA$	45,00 $\pm 20,62aA$	20,00 $\pm 8,16aA$	60,00 $\pm 8,17aA$	20,00 $\pm 11,55aA$	5,00 $\pm 5,00aA$	5,00 $\pm 5,00aA$	45,00 $\pm 18,93aA$	45,00 $\pm 17,08aA$	0,00 $\pm 0,00bA$	0,00 $\pm 0,00aA$
7	60,00 $\pm 21,60aA$	40,00 $\pm 21,60aA$	15,00 $\pm 9,57aA$	55,00 $\pm 17,08aA$	30,00 $\pm 19,15aA$	0,00 $\pm 0,00aA$	10,00 $\pm 10,00aA$	25,00 $\pm 15,00aA$	30,00 $\pm 12,91aA$	30,00 $\pm 12,91abA$	5,00 $\pm 5,00aA$

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )

Tabela 11. Média de porcentagem (%  $\pm$  EP) de plantas de soja em cada estágio fenológico (V=Vegetativo; R=Reprodutivo) aos 42 e 54 dias após o plantio (DAP). Tratamentos (T): 1) Controle; 2) Silício (Si); 3) Tratamento de semente com inóculo líquido de *Rhizophagus irregulares*, *Funnelformis mosseae*, *Glomus aggregatum* e *Claroideoglomus etunicatum* (FMA-TS); 4) Inóculo granular de *Rhizophagus irregulares* (FMA-G); 5) FMA-TS + Si; 6) FMA-G + Si; 7) FMA-TS + FMA-G.

T	42 DAP					54 DAP	
	V5	V6	V7	V8	V9	R2	R3
1	0,00 $\pm$ 0,00aA	25,00 $\pm$ 9,57aA	40,00 $\pm$ 14,14aA	35,00 $\pm$ 22,17aA	0,00 $\pm$ 0,00aA	75,00 $\pm$ 15,00aA	25,00 $\pm$ 15,00aA
2	0,00 $\pm$ 0,00aB	20,00 $\pm$ 14,14aB	70,00 $\pm$ 12,91aA	5,00 $\pm$ 5,00aB	5,00 $\pm$ 5,00aB	95,00 $\pm$ 5,00aA	5,00 $\pm$ 5,00aB
3	0,00 $\pm$ 0,00aB	20,00 $\pm$ 0,00aB	65,00 $\pm$ 9,57aA	15,00 $\pm$ 9,57aB	0,00 $\pm$ 0,00aB	90,00 $\pm$ 10,00aA	10,00 $\pm$ 10,00aB
4	5,00 $\pm$ 5,00aA	30,00 $\pm$ 12,91aA	50,00 $\pm$ 12,91aA	15,00 $\pm$ 15,00aA	0,00 $\pm$ 0,00aA	100,00 $\pm$ 0,00aA	0,00 $\pm$ 0,00aB
5	5,00 $\pm$ 5,00aA	25,00 $\pm$ 15,00aA	35,00 $\pm$ 9,57aA	15,00 $\pm$ 9,57aA	20,00 $\pm$ 11,55aA	95,00 $\pm$ 5,00aA	5,00 $\pm$ 5,00aB
6	0,00 $\pm$ 0,00aA	15,00 $\pm$ 5,00aA	50,00 $\pm$ 19,15aA	20,00 $\pm$ 14,14aA	15,00 $\pm$ 15,00aA	80,00 $\pm$ 11,55aA	20,00 $\pm$ 11,55aA
7	5,00 $\pm$ 5,00aB	20,00 $\pm$ 8,16aB	60,00 $\pm$ 0,00aA	15,00 $\pm$ 9,57aB	0,00 $\pm$ 0,00aB	75,00 $\pm$ 15,00aA	25,00 $\pm$ 15,00aA

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

No levantamento de pragas no campo foi coletado com uma rede entomológica um total de doze espécies de insetos que causam danos as plantas de soja, dívidas em percevejos, lagartas, besouros e cigarrinhas. Foram encontradas as seguintes espécies: *Euschistus quadrator* (Rolston, 1874) (Hemiptera: Pentatomidae); *Nezara viridula* (Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Pentatomidae); *Piezodorus guildinii* (Westwood, 1837) (Hemiptera: Pentatomidae); *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae); *Anticarsia gemmatalis* (Hübner, 1818) (Lepidoptera: Erebidae); *Spodoptera ornithogalli* (Guenée, 1852) (Lepidoptera: Noctuidae); *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuidae); *Diabrotica balteata* (LeConte, 1865) (Coleoptera: Chrysomelidae); *Diabrotica undecimpunctata* (Mannerheim, 1843) (Coleoptera: Chrysomelidae); *Spissistilus festinus* (Say, 1830) (Hemiptera: Membracidae); *Hypena scabra* (Fabricius, 1798) (Lepidoptera: Erebidae) e *Colaspis brunnea* (Fabricius, 1798) (Coleoptera: Chrysomelidae).

Não houve diferença na quantidade de indivíduos encontrados (média de insetos por tratamento) nas plantas com 63 e 77 dias. Entretanto é importante destacar que nas plantas controle (sem aplicação de silício e fungos micorrízicos) foram encontrados uma maior quantidade de insetos-praga (80) com 57 cigarrinhas, 15 besouros e 8 percevejos. Nas parcelas com aplicação de silício e inóculo granular de *R. irregulares* junto com silício foram encontrados um menor número total de pragas, 47 e 41 respectivamente. Nas plantas tratadas com Si foram coletados 34 cigarrinhas, 7 besouros, 4 lagartas e 2 percevejos e as plantas tratadas com FMA-G + Si foram encontrados 29 cigarrinhas, 10 besouros, 1 lagarta e 1 percevejo (Tabela 12).

Na análise da qualidade de sementes, não houve diferença entre os tratamentos na quantidade média de sementes danificadas e/ou inadequadas (quebradas, roxas, verdes, com fungos e com picadas de percevejos) e adequadas. Além disso, também não teve variação significativa na média de peso e na porcentagem de umidade das sementes. Houve diferença apenas na média de sementes achatadas ( $F=2,15$ ;  $p= 0,0545$ ). Na parcela que foi feito o plantio de sementes submetidas ao tratamento de semente com o inóculo líquido dos fungos *R. irregulares*, *F. mosseae*, *G. aggregatum* e *C. etunicatum* foram colhidos uma quantidade significativamente maior de sementes achatadas. Nas parcelas onde foi feito o plantio das sementes tratadas com esse mesmo inóculo (FMA-TS) e

adicionalmente foi aplicado por cobertura a volastonita (Si), as sementes resultantes dessas plantas estavam menos achatadas (Tabela 13).

Tabela 12. Média ( $n^{\circ} \pm EP$ ) de espécies de insetos-praga coletados em plantas de soja aos 63 e 77 dias após o plantio (DAP). Tratamentos (T): 1) Controle; 2) Silício (Si); 3) Tratamento de semente com inóculo líquido de *Rhizophagus irregularis*, *Funneliformis mosseae*, *Glomus aggregatum* e *Claroideoglossum etunicatum* (FMA-TS); 4) Inóculo granular de *Rhizophagus irregularis* (FMA-G); 5) FMA-TS + Si; 6) FMA-G + Si; 7) FMA-TS + FMA-G. Espécies de insetos-praga coletados: EQ = *Euschistus quadrator*; NV = *Nezara viridula*; PG = *Piezodorus guildinii*; CI = *Chrysodeixis includens*; AG = *Anticarsia gemmatilis*; SO = *Spodoptera ornithogalli*; HZ = *Helicoverpa zea*; DB = *Diabrotica balteata*; DU = *Diabrotica undecimpunctata*; SF = *Spissistilus festinus*; HS = *Hypena scabra*; CB = *Colaspis brunnea*.

T	63 DAP										Média de insetos	77 DAP										Média de insetos	Total de insetos
	EQ	NV	PG	CI	AG	SO	HZ	DB	DU	SF		EQ	NV	PG	CI	AG	HS	DB	CB	SF			
1	2	0	1	0	0	0	0	3	0	9	4,25±1,31a	2	1	2	0	0	12	0	48	16,25±3,82a	80		
2	2	0	0	0	0	2	0	1	0	10	3,75±2,06a	0	0	0	2	0	5	1	24	8,25±1,60a	47		
3	6	0	2	0	0	0	0	0	0	4	3,00±1,29a	1	0	0	1	3	10	0	37	13,00±1,08a	64		
4	0	1	0	2	1	0	0	0	0	10	3,50±0,96a	2	1	0	0	1	5	1	34	11,00±1,63a	58		
5	4	2	1	0	0	0	0	1	0	11	5,00±1,35a	3	0	7	0	1	14	0	35	15,00±2,55a	79		
6	1	0	0	0	0	0	0	1	0	5	1,75±1,18a	0	0	0	1	0	9	0	24	9,00±2,12a	41		
7	1	0	0	0	0	0	1	0	2	11	4,00±0,41a	2	0	2	2	3	1	5	1	21	9,25±2,21a	52	

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Tabela 13. Média ( $\pm$  EP) da qualidade de sementes de soja. Tratamentos (T): 1) Controle; 2) Silício (Si); 3) Tratamento de semente com inóculo líquido de *Rhizophagus irregularis*, *Funneliformis mosseae*, *Glomus aggregatum* e *Claroideoglomus etunicatum* (FMA-TS); 4) Inóculo granular de *Rhizophagus irregularis* (FMA-G); 5) FMA-TS + Si; 6) FMA-G + Si; 7) FMA-TS + FMA-G. Parâmetros avaliados: SQ = sementes quebradas; SR = sementes roxas; SV = sementes verdes; SCF = sementes com fungos; SA = sementes achatadas; SCP = sementes com picadas de percevejo; SAD = sementes adequadas; PID (SQ+SR+SV+SCF+SA+SCP) = peso de sementes inadequadas; PAD (SAD) = peso de sementes sem danos; U = umidade das sementes.

T	SQ (n°)	SR (n°)	SV (n°)	SCF (n°)	SA (n°)	SCP (n°)	SAD (n°)	PID (g)	PAD (g)	U (%)
1	3,56 $\pm 0,61a$	2,56 $\pm 0,36a$	6,28 $\pm 1,85a$	11,78 $\pm 2,35a$	39,28 $\pm 1,92ab$	1,11 $\pm 0,29a$	35,44 $\pm 3,34a$	7,38 $\pm 0,52a$	4,72 $\pm 0,43a$	7,43 $\pm 0,07a$
2	3,83 $\pm 0,62a$	2,67 $\pm 0,42a$	6,33 $\pm 1,89a$	9,06 $\pm 1,47a$	44,00 $\pm 1,63ab$	1,39 $\pm 0,37a$	32,72 $\pm 3,35a$	7,28 $\pm 0,45a$	4,11 $\pm 0,47a$	7,54 $\pm 0,10a$
3	3,72 $\pm 0,64a$	2,00 $\pm 0,24a$	5,61 $\pm 1,46a$	13,00 $\pm 1,97a$	49,00 $\pm 2,75a$	0,83 $\pm 0,26a$	26,06 $\pm 3,62a$	7,98 $\pm 0,36a$	3,42 $\pm 0,47a$	7,50 $\pm 0,10a$
4	5,00 $\pm 0,76a$	2,44 $\pm 0,43a$	4,55 $\pm 1,31a$	9,83 $\pm 1,49a$	42,72 $\pm 3,13ab$	1,06 $\pm 0,39a$	34,39 $\pm 4,82a$	6,84 $\pm 0,59a$	4,43 $\pm 0,55a$	7,52 $\pm 0,04a$
5	5,88 $\pm 1,33a$	2,50 $\pm 0,43a$	6,78 $\pm 2,00a$	10,33 $\pm 1,47a$	38,89 $\pm 2,86b$	1,50 $\pm 0,37a$	34,11 $\pm 3,09a$	7,51 $\pm 0,45a$	4,30 $\pm 0,41a$	7,30 $\pm 0,15a$
6	3,56 $\pm 0,61a$	1,67 $\pm 0,40a$	7,72 $\pm 2,01a$	7,67 $\pm 0,99a$	41,06 $\pm 1,75ab$	2,00 $\pm 0,34a$	36,33 $\pm 3,00a$	7,19 $\pm 0,28a$	4,81 $\pm 0,52a$	7,42 $\pm 0,06a$
7	5,78 $\pm 0,63a$	2,50 $\pm 0,58a$	6,56 $\pm 1,59a$	9,33 $\pm 1,93a$	43,44 $\pm 2,64ab$	1,17 $\pm 0,26a$	31,22 $\pm 2,95a$	7,39 $\pm 0,53a$	4,20 $\pm 0,38a$	7,24 $\pm 0,06a$

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4. Discussão

Os resultados de casa de vegetação demonstraram que a aplicação de silicato de cálcio (Si) e do fungo micorrízico arbuscular *R. irregulares* (FMA-G) podem influenciar no desenvolvimento e/ou tolerância de soja e milho a *S. frugiperda*. As plantas de soja aos 30 e 45 dias após o plantio (DAP) sem danos (controle) tratadas com FMA-G e silício e apenas FMA-G tiveram mais trifólios (maior área foliar) e um comprimento da parte aérea superior as plantas controle e as tratadas unicamente com Si, sugerindo que a micorriza *R. irregulares* contribuiu para o desenvolvimento da soja. Resultados semelhantes foram encontrados nos estudos de Zhao et al. (2019), que mostraram que a inoculação com *R. irregulares* promoveu significativamente o crescimento das plantas de soja em comparação com outros tratamentos sem essa espécie de micorrizas. Em um outro trabalho, Cely et al. (2016) demonstrou que inoculação do fungo micorrízico *Rhizophagus clarus* (Nicolson e Schenck, 1979) (Glomerales: Glomeraceae) também aumentou o crescimento e produtividade de soja.

A função mais importante das associações entre planta e micorrizas envolve a transferência de fósforo (P) e nitrogênio (N) dos FMAs para as plantas e carbono (C) na forma de açúcares e lipídios para os FMAs, esse processo de simbiose geralmente promove o crescimento das plantas (Luginbuehl et al., 2017; Zhao et al., 2019). Portanto, a inoculação de micorrizas no solo ou nas sementes podem ser uma prática para o uso mais eficiente de diversos nutrientes nas lavouras (Kohl et al., 2016). No estudo de Kobae et al. (2010), foram encontrados 5 genes transportadores de amônia (nitrogênio) no genoma da soja induzidos por FMAs. Diante disso, esse estudo propôs um tratamento com inóculos de FMAs misturado com o minério volastonita, que é um silicato de cálcio ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) com 24% de silício, para verificar se os FMAs aplicados ajuda a planta na absorção desse elemento. De acordo com Paye et al. (2018) a planta só consegue absorver o silício na forma de ácido monossilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ). Ao atingir os espaços intercelulares e paredes celulares da epiderme, o ácido monossilícico é polimerizado e depositado como sílica amorfa ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) (Meena et al., 2014), formando uma barreira mecânica (Massey e Hartley, 2009), que torna os tecidos das

plantas mais resistentes e dificulta a alimentação e digestão dos insetos herbívoros (Alhousari e Greger, 2018).

Nos dois tratamentos com a micorriza (FMA-G e FMA-G + Si) as plantas de soja tiveram também um maior peso seco de raiz e parte aérea. Resultado semelhante foi encontrado no estudo de Qin et al. (2020), onde dois genótipos de soja com 40 dias inoculadas com a mesma espécie de FMA (*R. irregulares*) aumentaram significativamente a altura e massa seca de raiz e parte aérea. Em outro estudo realizado em campo, utilizando arroz como modelo, Bernaola e Stout (2021) observaram que a inoculação com FMA aumentou a biomassa radicular em 35%, 43% e 68% e da parte aérea em 19%, 45% e 46% em três experimentos.

Associações com microrganismos do solo podem afetar positivamente a capacidade de uma planta de se recuperar de injúrias de insetos herbívoros (Luginbuehl et al., 2017; Zhao et al., 2019; Putra et al., 2020; Bernaola e Stout, 2021). A capacidade de plantas cultivadas de tolerar e produzirem sob o ataque de herbívoros é fundamental para a produção agrícola. Para avaliar o potencial de silício e micorriza na recuperação e tolerância das plantas de soja diante de uma desfolha, foram retirados 80% das folhas. Antes do dano mecânico (30 DAP) as plantas tratadas com FMA-G também tiveram significativamente o maior número de trifólios, reforçando os resultados anteriores das plantas controle (sem danos), que de fato as FMAs podem induzir o aumento da área foliar. Aos 45 DAP, ou seja, 15 dias após o dano mecânico, foi observado que as plantas tratadas com FMA-G misturado com Si, tiveram significativamente o maior número de folhas e peso seco da parte aérea. Estes dados demonstraram que o tratamento com micorrizas em conjunto com o elemento silício, podem ajudar as plantas a tolerar e regenerar de injurias mecânicas, tais como a desfolha por insetos herbívoros mastigadores. Os dados sugerem que o fungo *R. irregulares* ajudou as plantas de soja danificadas a absorverem maior quantidade de silício do solo.

Nos vasos que foram adicionados apenas Si e inoculados FMA-G individualmente o peso seco (raiz e parte aérea) e o número de trifólios foram menores que o tratamento FMA-G + Si, porem foram maiores que o controle (sem Si e FMA-G). É descrito na literatura que o Si desempenha um papel importante no crescimento, nutrição, tolerância e resistência mecânica a doenças fúngicas e a herbívoros de

insetos (Epstein 1994; Ma e Yamaji, 2006; Kvedaras et al., 2007; Reynolds et al., 2016). A tolerância é definida como a capacidade das plantas de suportar lesões causadas por insetos sem que seu crescimento e produção sejam substancialmente afetados (Sousa et al., 2021). Segundo Coskun et al. (2018), os efeitos benéficos fornecidos pelo silício sobre o crescimento das plantas são mais evidenciados em situações de estresse.

Nas plantas de soja infestadas com as lagartas de *S. frugiperda*, resultados interessantes foram observados. As plantas inoculadas com *R. irregulares* e tratadas com silicato de cálcio (FMA-G + Si) tiveram significativamente a menor porcentagem de desfolha, ou seja, as lagartas se alimentaram menos em relação aos tratamentos FMA-G, Si e o tratamento controle. Esse tratamento também foi o que teve menores medias de ganho de peso, peso médio e taxa de crescimento relativo, afetando negativamente a biologia do inseto (antibiose). Estes dados sugerem que a colonização da micorriza nas raízes favoreceu uma maior absorção do silício pelas plantas de soja. Os FMAs formam “redes” de hifas que podem crescer por dentro ou fora das células das raízes, aumentando a área de absorção (Hoffmann e Lucena, 2006). A troca de nutrientes entre os simbiossantes ocorre no interior das células do córtex interno da raiz, através de uma estrutura altamente ramificada formada pelos FMAs, chamada de arbúsculos (Harrison, 2005; Parniske, 2008; Gutjahr e Parniske, 2013). Essa estrutura é formada durante o processo simbiótico, ocorre a diferenciação da hifa em apresório e posterior penetração nas raízes por pressão mecânica e degradação enzimática. Após a penetração ocorre a colonização do apoplasto e das células do córtex formando os arbúsculos através da penetração das células corticais pela hifa causando invaginação da plasmalema (Hoffmann e Lucena, 2006).

Alguns estudos já demonstraram que plantas fertilizadas com Si apresentaram maior resistência contra insetos mastigadores, incluindo a lagarta *S. frugiperda* (Goussain et al., 2002; Alvarenga et al., 2017; Nascimento et al., 2017; Oliveira et al., 2017). A silicificação ( $\text{SiO}_2$ ) da parede celular, aumenta a rigidez e dificulta a alimentação dos insetos nos tecidos das plantas (Datnoff et al., 2001). Além desse efeito mecânico/morfológico, o Si pode aumentar a atividade de enzimas e metabólitos envolvidos na defesa química da planta (Dixon et al., 1994; Fawe et al., 2001; Gomes et al., 2005). Johnson et al. (2019) demonstraram que plantas de soja adubadas com

o silício efetivamente reduziu a taxa de crescimento relativo da *Helicoverpa punctigera*. Sendo assim, a aplicação de fontes de Si pode ser uma alternativa viável e com baixo custo no manejo integrado de pragas de insetos com importância econômica como a lagarta-do-cartucho (Nascimento et al., 2017; Oliveira et al., 2017).

Curiosamente, as lagartas alimentadas com plantas colonizadas por *R. irregulares* sem a aplicação de volastonita, tiveram maior ganho de peso, peso médio e taxa de crescimento relativo, favorecendo o desenvolvimento do inseto. Contrariando algumas análises que mostraram que os FMAs predominantemente tem efeitos negativos sobre o desempenho de insetos mastigadores generalistas, pois a *S. frugiperda* é uma lagarta que se alimenta de diversas culturas (Koricheva et al., 2009; Valicente, 2015; Bernaola et al., 2018; Eghrari et al., 2021). Entretanto foi consistente com o estudo de Bhavanam e Stout (2021). Estes autores mostraram que a lagarta do cartucho também apresentou maior ganho de peso quando alimentadas com plantas de arroz colonizadas por *R. irregulares*. Esse efeito positivo do FMA na biologia da lagarta também pode estar relacionado ao estágio de colonização micorrízica, de acordo com o tempo pós-inoculação e o nível de colonização. Esses dois fatores podem determinar alterações no crescimento das plantas, qualidade de nutrientes e defesa química e com isso o impacto das FMAs no herbívoro (Bhavanam e Stout, 2021). Por exemplo, em soja, o crescimento das lagartas *H. zea* e *S. frugiperda* foram negativamente correlacionados com o aumento dos níveis de colonização de FMAs nas raízes, os tempos de desenvolvimento larval aumentaram e as taxas de crescimento diminuíram em ambas as espécies (Rabin et al., 1985).

A colonização de raízes com FMAs pode alterar as interações com insetos herbívoros, com efeitos positivos, negativos ou mistos (Gange, 2001; Bennett et al., 2006; Koricheva et al., 2009; Kempel et al., 2011; Barber et al., 2013b; Yang et al., 2015; He et al., 2017). Efeitos negativos de FMAs na resistência a insetos herbívoros já foram observados em outros experimentos (Bernaola et al., 2018; Cosme et al., 2011; Roger et al., 2013; Simon et al., 2017; Bernaola e Stout, 2021). No estudo de Bhavanam e Stout (2021) lagartas de *S. frugiperda* alimentadas em plantas jovens de arroz cultivadas em solo inoculado com FMAs ganharam mais peso. No entanto, esse efeito positivo dos FMA no crescimento dos insetos não foi observado em plantas micorrízicas submetidas a injúrias por insetos. Os mecanismos específicos pelos

quais os FMAs aumentam a suscetibilidade aos insetos ainda não são claros. Possíveis explicações incluem o aumento das concentrações de nutrientes nas plantas e conseqüentemente melhora a qualidade do alimento para os herbívoros, melhorando o desenvolvimento biológico. Além disso, podem ocorrer alterações químicas de defesa da planta ou vias de sinalização, ou aumento da biomassa da planta que influencia na atração do inseto herbívoro (Currie et al., 2011; Bernaola e Stout, 2021). Existem evidências de plantas de tomate que mostraram que a colonização com micorrizas pode alterar a resistência vegetal alterando a defesa vegetal, como as vias de ácido jasmônico, que é um fitohormônio regulador das respostas de defesa induzida das plantas (Jung et al., 2012).

Visando testar gramíneas e leguminosas, foi realizado os mesmos testes com plantas de milho em casa de vegetação. A maioria dos estudos envolvendo o silício, se concentra nas monocotiledôneas (Putra et al., 2020). Em geral, as gramíneas (monocotiledôneas) como o milho absorvem e acumulam mais silício do que dicotiledôneas como a soja (Ma e Yamaji, 2015). Entretanto, alguns estudos apontam que algumas leguminosas (por exemplo, soja) possuem transportadores semelhantes para absorção de silício do solo como gramíneas hiperacumulativas (Deshmukh et al., 2013). Uma meta-análise mostrou que o feijão comum e a soja podem acumular concentrações relativamente altas de silício em seus tecidos foliares (Hodson et al., 2005). O milho especificamente tem uma alta capacidade de acumular Si (Marschener, 1995; Epstein, 1999).

Neste estudo, nos diferentes tratamentos, as plantas de milho aos 15 e 30 dias após o plantio (DAP) sem danos (controle) não tiveram diferença significativa no número de trifólios. Entretanto, houve diferença no comprimento da parte aérea e peso, nos vasos que foram aplicados apenas a fonte de silício, as plantas com 15 DAP estavam maiores e com maior peso seco de raiz. Sugerindo que a adubação com silício aumentou a biomassa das plantas de milho em casa de vegetação. Resultado semelhante foi encontrado nos estudos de Da Silva et al. (2021), onde a adição de silício resultou em maior produção de massa seca da parte aérea de milho. Galindo et al. (2020) demonstraram que a adubação de silicato combinada com a inoculação da bactéria *Azospirillum brasilense* (Tarrand, Krieg e Döbereiner, 1978) (Rhodospirillales: Azospirillaceae) aumentou a absorção de N e a biomassa radicular

e de parte aérea, com isso a produtividade de milho foi incrementada. Villegas et al. (2017) demonstraram que a aplicação de silício no solo aumentou o crescimento e o rendimento de grãos em plantas de arroz, aumentando o número de panículas e espiguetas por panícula. Em relação a produção, Semina et al. (2020) observaram que plantas de milho tratadas com diferentes produtos à base de silício tiveram um aumento no número de grãos por espiga.

Nossos dados mostraram que aos 30 DAP as plantas de milho inoculadas com FMA tiveram a maior altura da parte aérea, seguido pelas plantas fertilizadas com silício que também diferiram do controle. Bernaola et al., 2018 demonstraram que plantas de arroz inoculadas com seis espécies de FMA (*R. irregularis*, *F. mosseae*, *Glomus deserticola* (Trappe, Bloss e Meng, 1984) (Glomerales: Glomeraceae), *Rhizophagus fasciculatum* (Schuessler e Walker, 2010) (Glomerales: Glomeraceae), *Sclerocystis dussii* (Almeida e Schenck, 1990) (Glomerales: Glomeraceae) e *Glomus microaggregatum* (Koske, Gemma e Olexia, 1986) (Glomerales: Glomeraceae) aumentaram o crescimento das raízes e parte aérea, apesar de terem sido mais suscetíveis a *S. frugiperda*. De fato, muitos estudos anteriores indicaram que as micorrizas beneficiam culturas agrícolas, como o milho e a soja aumentando o crescimento, rendimento e a absorção de nutrientes essenciais como fosforo e nitrogênio (Gavito e Miller, 1998; Isobe et al., 2014; Higo et al., 2019). Apesar disso, de acordo com as análises deste trabalho, a micorriza *R. irregulares* parece não ajudar de forma significativa as plantas de milho na absorção do silício como na soja, pois o tratamento com a mistura de Si e FMA-G não apresentou muita diferença dos demais tratamentos.

Para avaliar o potencial de silício e micorrizas na recuperação das plantas de milho diante de um dano físico por herbívoros foi feito o corte de toda a planta a 5 cm do solo. Não houve diferença significativa no número de folhas e altura das plantas antes (15 DAP) e depois (30 DAP) do dano mecânico. Apesar disso, houve diferença na biomassa das plantas nos diferentes tratamentos. As plantas fertilizadas com apenas o silício apresentaram maior peso seco das raízes e o segunda maior peso seco da parte aérea, sugerindo que a adubação com esse elemento pode aumentar a tolerância das plantas aos danos causados por insetos mastigadores. Nos

experimentos de Sousa et al. (2021), também foi observado maior massa seca de raízes em plantas de milho fertilizadas com silício e com herbivoria prévia.

Nas infestações das plantas de milho com *S. frugiperda* não houve variação significativa, sugere-se portanto, aumentar o número de lagartas confinadas em uma planta, caso for repetir esses mesmos testes. Apesar disso, o desenvolvimento biológico das lagartas foram piores nas plantas tratadas com silício, sugerindo um maior potencial desse elemento em induzir respostas de defesa por antibiose que afeta negativamente a biologia dos insetos (Baldin et al., 2019; Boiça Júnior et al., 2019). Além disso, as plantas tratadas com volastonita tiveram a menor área foliar consumida pelas lagartas, demonstrando que esse elemento tem potencial para induzir a resistência por antixenose que é quando o inseto evita a planta para alimentação, geralmente é causado por características morfológicas da planta ou por compostos voláteis liberados por ela (Baldin et al., 2019; Boiça Júnior et al., 2019; Ulhoa et al., 2020).

Diversos estudos demonstraram os benefícios da aplicação do elemento silício visando a resistência do milho a lagarta do cartucho. Sousa et al. (2021) demonstraram que lagartas de *S. frugiperda* alimentadas com plantas de milho tratadas com silício e submetidas a herbivoria prévia tiveram menor peso larval e as plantas apresentaram menor porcentagem de danos e lesões, em relação as plantas sem herbivoria e tratadas com silício, nesse estudo o Si teve também papel importante na resistência induzida. Goussain et al. (2002) verificaram maior mortalidade de *S. frugiperda* quando foram alimentadas com folhas de plantas de milho tratadas com silício, em comparação com a testemunha. Nesse mesmo estudo, observou-se que as mandíbulas das lagartas, apresentaram desgaste acentuado na região incisora quando em contato com folhas com maior teor de silício. Nos testes de Alvarenga et al. (2017), assim como nesse estudo não foram observadas diferenças significativas nos parâmetros biológicos larval e pupal de *S. frugiperda* (duração, sobrevivência, peso de larvas e pupas) em resposta a plantas tratadas com silício. Entretanto, as folhas desse tratamento foram significativamente menos consumidas e houve uma redução de oviposição das fêmeas originadas de lagartas que alimentaram de plantas com Si. No estudo de Santos et al. (2017) verificou-se o efeito da adição de silício na preferência alimentar e nas injúrias causada pela lagarta do cartucho. Houve redução

das injúrias causadas pela alimentação de *S. frugiperda* em milho Bt e convencional medido em casa de vegetação. Também foi possível verificar a redução da sobrevivência larval e da biomassa de pupas em função da adição do silício no solo. Nos experimentos de Bhavanam e Stout (2021) as lagartas de *S. frugiperda* alimentadas com plantas de arroz com silício ganharam 20% menos peso em comparação com as larvas alimentadas com plantas controle. Todos esses resultados apontam para o potencial da adição de silício em campo, como estratégia para o MIP de *S. frugiperda*.

Para confirmar que as raízes das plantas de soja e milho tratadas com micorriza (FMA-G) estavam colonizadas por *R. irregulares*, foi feito a contagem das estruturas do fungo em microscópio (arbúsculos e vesículas). Nas plantas sem a aplicação do inóculo (controle e Si) não foi observado nenhuma estrutura. No entanto como esperado, nas plantas de milho e soja tratadas com o inóculo granular de *R. irregulares* (FMA-G e FMA-G + Si) foram observados a presença de uma grande quantidade de arbúsculos e vesículas nas raízes, demonstrando que a metodologia de inoculação desse trabalho aumentou a colonização e simbiose de *R. irregulares* nas raízes de milho e soja. Na cultura da soja foi observado uma maior colonização e número de arbúsculos em relação ao milho, isso pode ser explicado pela maior resposta das plantas de soja inoculadas com FMA-G nos experimentos. Os arbúsculos é uma estrutura altamente ramificada formada pelos FMAs, é o local onde ocorre a troca de nutrientes entre os simbiotes (Harrison, 2005; Parniske, 2008; Gutjahr e Parniske, 2013). Esta análise é consistente com outros estudos que mostram que a inoculação com inóculos de FMAs geralmente aumenta a colonização radicular das micorrizas nas plantas (Janoušková et al., 2013; Boyer et al., 2016; Kohl et al., 2016; Bernaola et al., 2018; Bernaola et al., 2019).

Nos experimentos de campo, as plantas de soja com 14 dias após o plantio (DAP) tratadas com os dois tipos de inóculos de micorrizas (FMA-TS + FMA-G) tiveram significativamente a maior média de plantas germinadas e consolidadas por fileira, o tratamento com FMA-G + Si teve a menor média. Houve uma diminuição no número médio de plantas por fileira aos 28 DAP em todos os tratamentos, com isso não houve diferença na comparação entre eles. Comparando a média total de 14 DAP e 28 DAP, na parcela que foi aplicado FMA-TS + FMA-G continuou com a maior média

de plantas estabelecidas por fileira seguido pelo tratamento de semente com inóculo líquido de 4 espécies de fungos micorrizicos (FMA-TS). O tratamento com inóculo granular de *R. irregulares* (FMA-G) misturado com volastonita (Si) manteve a menor média de plantas por fileira. Sugerindo que o inoculo líquido de 4 espécies de FMAs (*R. irregulares*, *F. mosseae*, *G. aggregatum* e *C. etunicatum*) quando tratado nas sementes de soja promove uma maior porcentagem de germinação e estabelecimentos das plântulas em uma condição de campo. Segundo Bennett e Meek (2020) os fungos micorrizicos arbusculares podem influenciar diretamente ou indiretamente na germinação de sementes, no estabelecimento de plântulas e no estande de plantas (densidade). Alguns estudos demonstraram que os FMA podem aumentar a viabilidade e germinação de sementes (Stanley et al., 1993; Koide et al., 1994; Wolfe et al., 2005). Na análise de densidade de plantas de soja pode-se concluir que o tratamento de semente com inoculo líquido (FMA-TS) promoveu uma maior resposta das plantas, sugerindo que esse método é mais eficaz na colonização e contato com as raízes do que o inoculo granular (FMA-G) em situações de campo. Mas é importante destacar que o inóculo FMA-TS tem 4 espécies de micorrizas e o FMA-G apenas uma espécie, de acordo com alguns estudos, solos com maior diversidade de microrganismos são mais ricos e benéficos para as culturas (Oehl et al., 2003, 2010; Hijri et al., 2006; Cofré et al., 2017). No tratamento de sementes provavelmente os fungos tiveram um maior contato com a raiz das plântulas no processo de germinação.

O inoculo granular ficou mais espalhado e disperso no solo e talvez nem todas as plântulas tiveram contato com o FMA-G. No experimento de campo foi usado uma plantadeira sem adubadeira, os inóculos granuladas caíram no solo junto com as sementes, possivelmente não houve distribuição homogênea dos propágulos no solo impedindo o contato com algumas plantas. Diferentemente do experimento feito em casa de vegetação que os propágulos granulados foram colocados no sulco manualmente em contato direto com a semente. Sendo assim, sugere-se a utilização de plantadeiras adequadas para a distribuição homogênea dos grânulos com propágulos de FMAs no sulco de plantio da mesma forma que são aplicados os adubos granulados.

Nas áreas (parcelas) onde foi aplicado apenas o silício, as plantas de soja com 28, 35 e 54 DAP estavam com a maior média de altura e aos 35 e 42 DAP, a maioria das plantas (70 %) estavam em estágio vegetativo mais avançado em relação aos demais tratamentos (V7). Diversos estudos na literatura demonstraram que a fertilização com fontes de silício pode ser benéfica para as plantas de soja (Putra et al., 2020). Através de experimentos em casa de vegetação com duas cultivares de soja, Steiner et al. (2018) demonstraram que a aplicação de silicato de cálcio e magnésio aumentou a quantidade de nódulos na cultivar convencional BRS-MG 800A. Em relação ao tamanho do nódulo, nível de clorofila e concentração foliar de nitrogênio foram observados aumento nas duas cultivares. A cultivar transgênica BRS 1074 IPRO foi mais responsiva que a BRS-MG 800A nos testes de crescimento e produção de matéria seca. Portanto, o Si pode induzir a formação de nódulos radiculares em plantas de soja e proporcionar aumentos significativos na fixação biológica de N e conseqüentemente no crescimento das plantas. Esses resultados ressaltam que o Si não está envolvido apenas na melhoria do crescimento das plantas, mas, também, pode ser considerado um importante elemento para melhorar o desempenho simbiótico com as bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (Steiner et al., 2018; Putra et al., 2020).

Aos 42 dias após o plantio as plantas de soja originadas de sementes tratadas com inóculo líquido de *R. irregulares*, *F. mosseae*, *G. aggregatum* e *C. etunicatum* também apresentaram plantas mais desenvolvidas. Nos tratamentos FMA-TS 65% e FMA-TS + FMA-G 60% das plantas estavam no estágio V7. Como na análise de densidade de plantas o tratamento de semente com as 4 espécies (FMA-TS) promoveu um melhor desenvolvimento das plantas do que o inóculo granular (FMA-G) de acordo com a metodologia feita no campo. Em uma ampla revisão de experimentos realizados com fungos micorrízicos, Berruti et al. (2016) demonstraram que o tratamento de semente com FMAs aumenta a colonização radicular e peso seco das plantas. Além disso, foi demonstrado que plantas colonizadas com FMAs são mais bem nutridas, ou seja, aproveitam mais os fertilizantes aplicados e conseqüentemente o desenvolvimento e produtividade de várias culturas sob diversas condições experimentais tendem a aumentar (Berruti et al., 2016).

Para avaliar a preferência alimentar (antixenose) dos diferentes tratamentos foram feito o levantamento de espécies de insetos-praga com uma rede entomológica no campo. Foram encontrados uma grande diversidade de insetos, porém não houve diferença na média de pragas encontradas nas diferentes parcelas. Entretanto as plantas controle (sem aplicação de silício e fungos micorrízicos) foram encontrados uma maior quantidade de insetos-praga. Nas parcelas com aplicação de silício e inóculo granular de *R. irregulares* junto com silício foram encontrados um menor número total de pragas. Sugerindo que a aplicação de silício contribuiu para que as plantas fossem menos atrativas as diferentes pragas no campo. Diversos trabalhos demonstraram que a aplicação no solo ou foliar de Si pode aumentar a resistência de plantas a insetos-pragas mastigadores (Kvedaras et al., 2007; Han et al., 2015; Alvarenga et al., 2017; Villegas et al., 2017; Nascimento et al., 2018, Sousa et al., 2021) e sugadores (Dias et al., 2014; Almeida et al., 2015; He et al., 2015; Souza et al., 2016). O ácido monossilícico absorvido pelas plantas, também pode induzir as defesas do tipo constitutiva (sem injúria) e induzida (com injúria) por processos fisiológicos e bioquímicos (Ma et al., 2004; Liang et al., 2015). O Si pode desencadear a produção de fitohormônios promotores de resistência, enzimas defensivas e voláteis que repelem os insetos herbívoros e atraem seus inimigos naturais (Gomes et al., 2005; Ranger et al., 2009; Kvedaras et al., 2010; Peixoto et al., 2011; Reynolds et al., 2016).

O Si não é considerado essencial fisiologicamente para o desenvolvimento das plantas, mas há diversos relatos que esse elemento é benéfico para as mesmas. Além de aumentar a resistência aos estresses bióticos, esse elemento ajuda as plantas a resistirem à seca (Chen et al., 2011), à salinidade (Liu et al., 2015) e à deficiência ou à toxicidade mineral (Farooq et al., 2016). Pode aumentar a qualidade e a fertilidade do solo e a eficiência do uso de fertilizantes na agricultura (Agostinho, 2016). A deposição de Si nos tecidos vegetais torna as folhas mais eretas, diminuindo o sombreamento e aumentando a fotossíntese (Epstein, 1994). Portanto, as culturas tratadas com Si podem ter uma melhora no desenvolvimento e na produtividade no campo (Walsh et al., 2018).

Em relação a análise de sementes, não foi visto influência significativa dos FMAs e silício na qualidade das sementes colhidas no campo. Não houve diferença

na quantidade média de sementes adequadas, quebradas, roxas, verdes, com fungos, com picadas de percevejo, peso e na umidade das sementes. Entretanto houve diferença apenas na média de sementes achatadas. Na parcela que foi feito o plantio de sementes submetidas ao tratamento de semente com o inóculo líquido dos fungos *R. irregulares*, *F. mosseae*, *G. aggregatum* e *C. etunicatum* foram colhidos uma quantidade significativamente maior de sementes achatadas. Nas parcelas onde foi feito o plantio das sementes tratadas com esse mesmo inóculo (FMA-TS) e adicionalmente foi aplicado por cobertura a volastonita (Si), as sementes resultantes dessas plantas estavam menos achatadas. Nesse sentido o silício teve um papel importante na diminuição de sementes com formato inadequado, pois o tratamento FMA-TS teve a maior e FMA-TS + Si a menor quantidade de sementes achatadas.

Concluindo, os testes em casa de vegetação demonstraram que a inoculação e colonização do fungo micorrízico arbuscular *R. irregulares* nas raízes (FMA-G) e a aplicação de silicato de cálcio (Si) no solo individualmente ou em conjunto (FMA-G + Si) afetaram positivamente o desenvolvimento, resistência e tolerância das plantas de milho e soja. Nos testes em campo com soja observou-se melhores resultados com o tratamento de semente com inóculo líquido de *R. irregulares*, *F. mosseae*, *G. aggregatum* e *C. etunicatum* (FMA-TS) e com aplicação de silicato de cálcio (silício). Esses tratamentos aplicados individualmente ou em conjunto (FMA-TS + Si) influenciaram positivamente no desenvolvimento, resistência e tolerância.

Os dados desse estudo fornecem informações importantes que poderão auxiliar os produtores de soja e milho no cultivo e manejo integrado de pragas. Considerando que o uso de inseticidas químicos possui diversas desvantagens, a busca de alternativas sustentáveis é essencial para o aumento da produção de alimentos. Foi demonstrado que o uso de FMAs e fontes de silício possuem potencial para o aumento da produtividade e na resistência e tolerância a insetos-praga, doenças e a estresses abióticos, como déficit hídrico, por exemplo. Existem diversos materiais acessíveis e de baixo custo, que são fontes de silício, tais como a volastonita, resíduos da indústria siderúrgica e o pó de rocha que podem ser usados pelos produtores. Ainda se tem um desafio em relação ao uso de FMAs, pois existem poucas empresas no Brasil que comercializam inóculos comerciais desses microrganismos. Outros estudos ainda são necessários, como avaliar a

produtividade/produção desses tratamentos no campo com diferentes genótipos de soja e milho.

## 5. Referências

Abdel A, Abdel H, Hashem A, Rasool S, Fathi E, Allah A (2016) Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis and Abiotic Stress in Plants. **Annual Review of Plant Biology** 59: 407.

Agostinho FB (2016) **Evaluation of Absorption and Uptake of Soil- and Foliar-Applied Silicon in Rice and its Accumulation under Different Phosphorus Rates.** 84 f. Theses (LSU Master's), Louisiana State University, Baton Rouge.

Alhousari F, Greger M (2018) Silicon and Mechanisms of Plant Resistance to Insect Pests. **Plants** 7:33.

Almeida ACS, Silva LP, Jesus FG, Nogueira L, Sousa Neto M, Cunha PCR (2015) Efeito de indutores de resistência em híbridos de milho na atratividade do pulgão *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae). **Agrarian** 8: 23-29.

Alvarenga R, Moraes JC, Auad AM, Coelho M, Nascimento AM (2017) Induction of resistance of corn plants to *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) by application of silicon and gibberellic acid. **Bulletin of Entomological Research** 107:527– 533.

Babikova Z, Gilbert L, Bruce T, Dewhurst SY, Pickett JA, Johnson D (2014) Arbuscular mycorrhizal fungi and aphids interact by changing host plant quality and volatile emission. **Functional Ecology** 28: 375–385.

Baldin ELL, Vendramin JD, Lourenção AL (2019) **Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações.** Piracicaba: FEALQ, 493p.

Barber NA, Kiers ET, Theis N, Hazzard RV, Adler LS (2013). Linking agricultural practices, mycorrhizal fungi, and traits mediating plant– insect interactions. **Ecological Applications** 23:1519–1530.

Barros EM, Torres J, Bianco B, Bueno AF (2010) Oviposition, development and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different hosts of economic importance. **Neotropical Entomology** 39:996-1001.

Bender SF, Van der Heijden KG (2015). Soil biota enhance agricultural sustainability by improving crop yield, nutrient uptake and reducing nitrogen leaching losses. **Journal Applied Ecology** 52:228-239.

Bennett AE, Alers-Garcia J, Bever JD (2006) Three-way interactions among mutualistic mycorrhizal fungi, plants, and plant enemies: Hypotheses and synthesis. **American Naturalist** 167:141–152.

Bennett AE, Meek (2020) The influence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Plant Reproduction. **Journal of Chemical Ecology** 46(8): 1-15.

Bernaola L, Cosme M, Schneider RW, Stout M (2018) Natural Colonization of Rice by Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Different Production Areas. **Frontier in Plant Science** 25:169–174.

Bernaola L, Stout MJ (2019) Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on rice-herbivore interactions are soil-dependent. **Scientific Reports** 9:14037.

Bernaola L, Stout MJ (2021) The effect of mycorrhizal seed treatments on rice growth, yield, and tolerance to insect herbivores. **Journal of Pest Science** 94:375–392.

Bernardi O, Sorgatto RJ, Barbosa AD, Domingues FA, Dourado PM, Carvalho RA, Martinelli S, Head GP, Omoto C (2014) Low susceptibility of *Spodoptera cosmioides*, *Spodoptera eridania* and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to genetically-modified soybean expressing Cry1Ac protein. **Crop Protection** 58:33-40.

Bernardi O, Bernardi D, Amado D, Sousa RS, Fatochetto J, Medeiros FCL, Conville J, Burd T, Omot C (2015a) Resistance risk assessment of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) to Vip3Aa20 insecticidal protein expressed in corn. **Journal Economical Entomology** 108: 2711-2719.

Bernardi O, Bernardi D, Ribeir RS, Okuma DM, Salmeron E, Fatochetto J, Medeiros FCL, Burd T, Omoto C (2015b) Frequency of resistance to Vip3Aa20 toxin from *Bacillus thuringiensis* in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) populations in Brazil. **Crop Protection** 76:7-14.

Bernardi O, Bernardi D, Horikoshi RJ, Okuma DM, Miraldo LL, Fatochetto J, Medeiros FCL, Burd T, Omoto C (2016) Selection and characterization of resistance to the Vip3Aa20 protein from *Bacillus thuringiensis* in *Spodoptera frugiperda*. **Pest Management Science** 72(9):1794-802

Berruti A, Lumini E, Balestrini R, Bianciotto V (2016) Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Natural Biofertilizers: Let's Benefit from Past Successes. **Frontiers in Microbiology** 6:1–13.

Bezerra ARG (2015) Importância Econômica. In: Sedyama A, Silva T, Borém F(Ed.) **Soja: do plantio a colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV.

Bhavanam S, Stout MJ (2021) Assessment of Silicon- and Mycorrhizae- Mediated Constitutive and Induced Systemic Resistance in Rice, *Oryza sativa* L., against the Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* Smith. **Plants** 10, 2126.

Boiça Júnior AL, Freitas CA, Freitas MM, Nogueira L, Di Bello MM, Fonseca SS, Eduardo WI (2018) Estratégias de defesa de plantas a insetos. In.: Castilho RC, Truzzi CC, Pinto CPG (Eds.) **Tópicos em Entomologia Agrícola - XI**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda. p. 71-93.

Boiça Júnior AL, Freitas MM, Freitas CA, Di Bello MM, Ulhoa LA, Pascutti TM, Souza BHS (2019) Respostas induzidas de defesa das plantas e implicações no manejo integrado de pragas. In.: Castilho RDC, Rezende GF, Nascimento J, Rossi GD (eds.) **Tópicos em Entomologia Agrícola - XII**. Jaboticabal, SP: Multipress, p. 137-160.

Boyer LR, Feng W, Gulbis N, Hajdu K, Harrison RJ, Jeffries P, Xu X (2016) The use of Arbuscular Mycorrhizal Fungi to Improve Strawberry Production in Coir Substrate. **Frontiers in Plant Science** 7:1237.

Bueno AF, Carvalho GA, Santos AC, Sosa-Gómez DR, Silva DM (2017) Pesticide selectivity to natural enemies: challenges and constraints for research and field recommendation. **Ciência Rural** 47:6.

Brundrett MC (2002) Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. **New Phytologist** 154:275-304.

Campos-Soriano L, García-Garrido JM, Segundo BS (2010) Activation of basal defense mechanisms of rice plants by *Glomus intraradices* does not affect the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **New Phytologist** 188: 597–614.

Campos-Soriano L, Garcia-Martinez J, San Segundo B (2011) The arbuscular mycorrhizal symbiosis promotes the systemic induction of regulatory defence-related genes in rice leaves and confers resistance to pathogen infection. **Molecular Plant Pathology** 13: 579–592.

Cardoso IM, Kuyper TW (2006) Mycorrhizas and tropical soil fertility. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 116: 72–84.

Carrière Y, Crowder DW, Tabashnik B (2010). Evolutionary ecology of insect adaptation to Bt crops. **Evolutionary Applications** 3:561-573.

Cely MVT, De Oliveira AG, De Freitas VF, De Luca MB, Barazetti R., Dos Santos IMO, Gionco B, Garcia G, Prete CEC, Andrade G (2016) Inoculant of arbuscular mycorrhizal fungi (*Rhizophagus clarus*) increase yield of soybean and cotton under field conditions. **Frontiers in Microbiology** 7: 720.

Chaudhary G, Singh SK (2019) Global Status of Genetically Modified Crops and Its Commercialization. In.: Khoobchandani M, Saxena A (Eds.) **Biotechnology Products in Everyday Life**. Cham: Springer International Publishing. p. 147-160.

Chen W, Yao X, Cai K, Chen J (2011) Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. **Biological Trace Element Research** 142: 67–76.

Cofré MN, Ferrari AE, Becerra A, Dominguez L, Wall LG, Urcelay C (2017) Effects of cropping systems under no-till agriculture on arbuscular mycorrhizal fungi in Argentinean Pampas. **Soil Use and Management** 33: 364–378.

CONAB (2021) **Acompanhamento da safra Brasileira: grãos**, v.9 Safra 2021/22, n.3 - Terceiro levantamento, Brasília: CONAB, 99p. (CONAB. Documento, 1).

Copetta A, Lingua G, Berta G (2006) Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. Var. Genovese. **Mycorrhiza** 16: 485–494.

Coskun D, Deshmukh R, Sonah H, Menzies JG, Reynolds O, Ma JF, Kronzucker HJ, Bélanger RR (2018) The controversies of silicon's role in plant biology. **New Phytologist** 221(1).

Cosme M, Stout MJ, Wurst S (2011) Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus intraradices*) on the oviposition of rice water weevil (*Lissorhoptrus oryzophilus*). **Mycorrhiza** 21:651–658.

Currie A F, Murray PJ, Gange AC (2011) Is a specialist root-feeding insect affected by arbuscular mycorrhizal fungi? **Applied Soil Ecology** 47:77–83.

Da Silva ES, Prado RM, Soares AAVL, Almeida HJ, Dos Santos DMM (2021) Response of Corn Seedlings (*Zea mays* L.) to Different Concentrations of Nitrogen in Absence and Presence of Silicon. **Silicon** 13: 813-818.

Datnoff LE, Snyder GH, Korndörfer GH (2001) **Silicon in agriculture**. Elsevier Science 8.

Debona D, Rodrigues FA, Datnoff LE (2017) Silicon's Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses. **The Annual Review of Phytopathology** 55:1-23.

Deshmukh RK, Vivancos J, Guérin V, Sonah H, Labbé C, Belzile F, Bélanger R R (2013) Identification and functional characterization of silicon transporters in soybean using comparative genomics of major intrinsic proteins in *Arabidopsis* and rice. **Plant Molecular Biology** 83: 303– 315.

Dias PAS, Sampaio MV, Rodrigues MP, Korndorfer AP, Oliveira RS (2014) Induction of resistance by silicon in wheat plants to alate and apterous morphs of *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae). **Environmental Entomology** 43: 949–95.

Dixon RA, Harrison MJ, Lamb CJ (1994) Early events in the activation of plant defense responses. **The Annual Review of Phytopathology** 32:479–501.

Duarte JO, Garcia JC, Miranda RA (2015) **Cultivo do milho: economia da produção**. Sistema de produção EMBRAPA Milho e Sorgo. Disponível em: <[www.spo.cnptia.embrapa.br](http://www.spo.cnptia.embrapa.br)>. Acessado em: 01 jul. 2021.

Eghrari K, Oliveira SC, Nascimento AM, Queiroz B, Fatoletto J, de Souza BHS, Fernandes OA, Môro GV (2022) The implications of homozygous vip3Aa20-and cry1Ab-maize on *Spodoptera frugiperda* control. **Journal of Pest Science** 95:115–127.

Epstein E (1994) The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA** 91: 11–17.

Epstein E (1999) Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** 50: 641–664.

Epstein E (2009) Silicon: its manifold roles in plants. **Annals of Applied Biology** 155: 155–160.

Farooq MA, Detterbeck A, Clemens S, Dietz K J (2016) Silicon induced reversibility of cadmium toxicity in rice. **Journal of Experimental Botany** 67: 3573–3585.

Fawe A, Menzies JG, Chérif M, Bélanger RR (2001) Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: Studies in plant science. **Elsevier** 8:159–169.

Galindo FS, Pagliari PH, Rodrigues WL, Pereira MRA, Buzetti S, Filho MMCT (2020) Investigation of *Azospirillum brasilense* Inoculation and Silicon Application on Corn Yield Responses. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 20(4).

Gange AC (2001) Species-specific responses of a root- and shoot-feeding insect to arbuscular mycorrhizal colonization of its host plant. **New Phytologist** 150:611–618.

Gange AC, Brown VK, Aplin DM (2003) Multitrophic links between arbuscular mycorrhizal fungi and insect parasitoids. **Ecology Letters** 6: 1051–1055.

Gao CM, Wang MY, Mi Y, Wan FH, Liu RJ (2014) Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and herbivorous insects. **Acta Ecologica Sinica** 13:3481–3489.

Gavito ME, Miller MH (1998) Early phosphorus nutrition, mycorrhizae development, dry matter partitioning and yield of maize. **Plant and Soil** 199:177-186.

Geiger F, Bengtsson J , Berendse F, Weisser WW, Emmerson M, Morales MB, Ceryngier P, Liira J, Tscharntkei T , Winqvist C , Eggers S , Bommarco R , Pa"rt T , Bretagnolle V, Plantegenest M, Clement LW, Dennis C, Palmer C, Oñate JJ, Guerrero I, Hawro V, Aavik T, Thies C , Flohre A, Hanke S, Fischer C, Goedhart PW, Inchausti P (2010) Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. **Basic and Applied Ecology** 11: 97–105.

Gomes FB, Moraes JC, Santos CD, Goussain MM (2005) Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola** 62(6): 547-551.

Gosling P, Jones J, Bending GD (2016). Evidence for functional redundancy in arbuscular mycorrhizal fungi and implications for agroecosystem management. **Mycorrhiza** 26:77–83.

Goussain MM, Moraes JC, Carvalho JG, Nogueira NL, Rossi ML (2002) Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology** 31:305–310.

Guerrieri E, Lingua G, Digilio MC, Massa N, Berta G (2004) Do interactions between plant roots and the rhizosphere affect parasitoid behaviour? **Ecological Entomology** 29: 753–756.

Gutjahr C, Parniske M (2013) Cell and developmental biology of arbuscular mycorrhiza symbiosis. **Annual Review of Cell and Developmental Biology** 29: 593–617.

Han Y, Lei W, Wen L, Hou M (2015) Silicon-mediated resistance in a susceptible rice variety to the rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae). **PLoS ONE** 10(4).

Harrison MJ (2005) Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Annual Review of Microbiology** 59: 19–42.

He WQ, Yang M, Li ZH, Qiu JL, Liu F, Qu XS (2015) High levels of silicon provided as nutrient in hydroponic culture enhances rice plant resistance to brown planthopper. **Crop Protection** 67:20–25.

He L, Li C, Liu R (2017) Indirect interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and *Spodoptera exigua* alter photosynthesis and plant endogenous hormones. **Mycorrhiza** 27: 525–535.

Higo M, Tatewaki Y, Gunji K, Kaseda A, Isobe K (2019). Cover cropping can be a stronger determinant than host crop identity for arbuscular mycorrhizal fungal communities colonizing maize and soybean. **PeerJ** 1-24.

Hijri I, Sykorova Z, Oehl F, Ineichen, Mäde P, Wiemken A, Redecker D (2006) Communities of arbuscular mycorrhizal fungi in arable soils are not necessarily low in diversity. **Molecular Ecology** 15: 2277–2289.

Hodson MJ, White PJ, Mead A, Broadley MR (2005). Phylogenetic variation in the silicon composition of plants **Annals of Botany** 96: 1027– 1046.

Hoffmann LV, Lucena VS (2006) **Para entender Micorrizas Arbusculares**. Embrapa Algodão. Documento 156:1:22.

Hoffmann-Campo CB, Corrêa-Ferreira BS, Moscardi F (2012) **Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes praga**. Brasília: Embrapa. p. 859.

Hohnjec N, Vieweg MF, Puhler A, Becker A, Kuster H (2005) Overlaps in the transcriptional profiles of *Medicago truncatula* roots inoculated with two different glomus fungi provide insights into the genetic program activated during arbuscular mycorrhiza. **Plant Physiology** 137: 1283–1301.

Isobe K, Higo M, Kondo T, Sato N, Takeyama S, Torigoe Y (2014) Effect of winter crop species on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Colonization and Subsequent Soybean Yields. **Plant Production Science** 17(3)260-267.

Janoušková M, Krak K, Wagg C, Štorchová H, Čaklová P, Vosátka M (2013) Effects of Inoculum Additions in the Presence of a Preestablished Arbuscular Mycorrhizal Fungal Community. **Applied and Environmental Microbiology** 79: 6507–6515.

Jansa J, Oberholzer HR, Egli S (2009) Environmental determinants of the arbuscular mycorrhizal fungal infectivity of Swiss agricultural soils. **European Journal of Soil Biology** 45: 400–408.

Johnson NC, Graham J H, Smith FA (1997). Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism–parasitism continuum. **New Phytologist** 135:575–585.

Johnson SN, Rowe R C, Hall CR (2019). Silicon is an inducible and effective herbivore defence against *Helicoverpa punctigera* (Lepidoptera:Noctuidae) in soybean. **Bulletin of Entomological Research** 1–6.

Jung SC, Martinez-Medina A, Lopez-Raez JA, Pozo MJ (2012) Mycorrhiza-induced resistance and priming of plant defenses. **Journal of Chemical Ecology** 38: 651–664.

Kapoor R, Chaudhary V, Bhatnagar AK (2007) Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. **Mycorrhiza** 17: 581–587.

Kaur S, Suseela V (2020) Unraveling arbuscular mycorrhiza-induced changes in plant primary and secondary metabolome. **Metabolites** 10: 335.

Kempel A, Schädler M, Chrobock T, Fischer M, van Kleunen M (2011) Tradeoffs associated with constitutive and induced plant resistance against herbivory. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 108:5685-5689.

Khaosaad T, Vierheilig H, Nell M, Zitterl-Eglseer K, Novak J (2006) Arbuscular mycorrhiza alter the concentration of essential oils in oregano (*Origanum* sp., Lamiaceae). **Mycorrhiza** 6: 443–446.

Kobae Y, Tamura Y, Takai S, Banba M, Hata S (2010) Localized expression of arbuscular mycorrhiza-inducible ammonium transporters in soybean. **Plant Cell Physiology** 51(9):1411-1415.

Kohl L, Lukasiewicz CE, van der Heijden MG (2016) Establishment and effectiveness of inoculated arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils. **Plant Cell and Environment** 39, 136–146.

Koide RT, Shumway DL, Mabon SA (1994) Mycorrhizal fungi and reproduction of field populations of *Abutilon theophrasti medic* (Malvaceae). **New Phytologist** 126:123-130.

Koricheva J, Gange AC, Jones T (2009) Effects of mycorrhizal fungi on insect herbivores: a meta-analysis. **Ecology** 90:2088–2097.

Koske RE, Gemma N (1989) A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research** 92: 486–488.

Kvedaras OL, Keeping MG, Goebel FR, Byrne MJ (2007) Water stress augments silicon-mediated resistance of susceptible sugarcane cultivars to the stalk borer *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae). **Bulletin of Entomological Research** 97:175–183.

Kvedaras O L, An M, Choi Y, Gurr G (2010) Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defences. **Bulletin of Entomological Research** 100(3): 367-371.

Laird RA, Addicott JF (2007) Arbuscular mycorrhizal fungi reduce the construction of extrafloral nectaries in *Vicia faba*. **Oecologia** 152: 541–551.

Li Z (2018) Evaluation of regulatory variation and theoretical health risk for pesticide maximum residue limits in food. **Journal of Environmental Management** 219:153-167.

Liu P, Yin L, Wang S, Zhang M, Deng X, Zhang S, Tanaka K (2015). Enhanced root hydraulic conductance by aquaporin regulation accounts for silicon alleviated salt-induced osmotic stress in *Sorghum bicolor* L. **Environmental and Experimental Botany** 111:42–51.

Liang Y, Miroslav N, Haijun G, Alin S (2015) Silicon and insect pest resistance. In: Yongchao L, Miroslav N, Richard B, Haijun G, Alin S. **Silicon in Agriculture** Eds Springer: Berlin, Germany; pp. 197–204.

Luginbuehl LH, Menard GN, Kurup S, Erp HV, Radhakrishnan GV, Breakspear A, Oldroyd GED, Eastmond PJ (2017) Fatty acids in arbuscular mycorrhizal fungi are synthesized by the host plant. **Science** 356:1175–1178.

Ma JF, Nishimura K, Takahashi E (1989) Effect of Silicon on the Growth of Rice Plants at Different Growth Stages. **Soil Science Plant Nutrition journal** 35:347–356.

Ma JF (2004) Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition** 50: 11–18.

Ma JF, Yamaji N (2006) Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends Plant Science** 11:392–397.

Ma JF, Yamaji N (2015) A cooperative system of silicon transport in plants. **Trends in Plant Science**. 20(7):435-442.

Massey FP, Hartley SE (2009) Physical defences wear you down: Progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. **Journal Animal Ecology** 78:281–291.

Masuda T, Goldsmith PD (2009) World soybean production: area harvested, yield, and long-term projections. **International Food and Agribusiness Management Review** 12:1-20.

Meena VD, Dotaniya ML, Coumar V, Rajendiran S, Ajay S, Kundu S, Rao AS (2014). A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B** 84:505 –518.

Miraldo LL, Bernardi O, Horikoshi RJ, Amaral FSA, Bernardi D, Omoto C (2016) Functional dominance of different aged larvae of Bt-resistant *Spodoptera frugiperda*

(Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic maize expressing Vip3Aa20 protein. **Crop Protection** 88:65-71.

Moradtalab N, Hajiboland R, Aliasgharzad N, Hartmann TE, Neumann G (2019) Silicon and the Association with an Arbuscular-Mycorrhizal Fungus (*Rhizophagus clarus*) Mitigate the Adverse Effects of Drought Stress on Strawberry. **Agronomy** 9(1): 41-61.

Nascimento AM, Assis FA, Moraes JC, Souza BHS (2017) Silicon application promotes rice growth and negatively affects development of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). **Journal Applied Entomology** 1–9.

Nishida T, Katayama N, Izumi N, Takayuki O (2010) Arbuscular mycorrhizal fungi species-specifically affect induced plant responses to a spider mite. **Population Ecology** 52:507–515.

Nogales A, Aguirreolea J, Santa Maria E, Camprubí A, Calvet C (2009) Response of mycorrhizal grapevine to *Armillaria mellea* inoculation: disease development and polyamines. **Plant Soil** 317:177–187.

Oehl F, Sieverding E, Ineichen K, Mäder P, Boller T, Wiemken A (2003) Impact of Land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. **Applied and Environmental Microbiology** 69(5):2816–2824.

Oehl F, Laczko E, Bogenrieder A, Stahr K, Bösch R, van der Heijden M, Sieverding E (2010) Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. **Soil Biology and Biochemistry** 42(5):724–738.

Oliveira F, Vilela M, Morais JC, Mendes S (2017) **Silício como estratégia para o manejo de *Spodoptera frugiperda***. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E). Sete Lagoas, 22p.

Parisi C, Tillie P, Rodríguez-Cerezo E (2016) The global pipeline of GM crops out to 2020. **Nature Biotechnology** 34:31-36.

Parniske M (2008) Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbiosis. **Nature Reviews Microbiology** 6: 763-775.

Paye W, Tubana B, Harrell D, Babu T, Kanke Y, Datnoff L (2018) Determination of Critical Soil Silicon Levels for Rice Production in Louisiana Using Different Extraction Procedures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 49: 2091–2102.

Peixoto ML, Moraes JC, Silva AA, Assis FA (2011) Effect of silicon on the oviposition preference of *Bemisia tabaci* Biotype B (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) on bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. **Science and Agrotechnology** 35(3): 478-481.

Pozo MJ, Azcon-Aguilar C (2007) Unraveling mycorrhiza-induced resistance. **Current Opinion in Plant Biology** 10: 393–398.

Pozo MJ, López-Ráez JA, Azcón-Aguilar C, García-Garrido JM (2015) Phytohormones as integrators of environmental signals in the regulation of mycorrhizal symbioses. **New Phytologist** 205 (4):1431–1436.

Putra R, Powell JR, Hartley SE, Johnson SN (2020) Is it time to include legumes in plant silicon research? **Functional Ecology** 34:1142-1157.

Qin J, Wang H, Cao H, Chen K, Wang X (2020) Combined effects of phosphorus and magnesium on mycorrhizal symbiosis through altering metabolism and transport of photosynthates in soybean. **Mycorrhiza** 30: 285–298.

Quintela ED, Barbosa FR (2015) **Manual de identificação de insetos e outros invertebrados pragas do feijoeiro**. 2a. Edição Atualizada. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 91 p. (Embrapa. Documento, 246).

Rabin L, Pacovsky R (1985) Reduced larva growth of two lepidoptera (Noctuidae) on excised leaves of soybean infected with a mycorrhizal fungus. **Journal Economic Entomology** 78: 1358–1363.

Ranger CM, Singh AP, Frantz JM, Cañas L, Locke JC, Reding ME, Vorsa N (2009) Influence of silicon on resistance of *Zinnia elegans* to *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). **Environmental entomology** 38(1): 129-136.

Rapparini F, Llusia J, Penuelas J (2008) Effect of arbuscular mycorrhizal (AM) colonization on terpene emission and content of *Artemisia annua* L. **Plant Biology** 10: 108–122.

Reynolds OL, Gurr G, Padula M, Zeng R (2016) Silicon: potential to promote direct and indirect effects on plant defence against arthropod pests. **Frontiers in Plant Science** 7: 744.

Richmond KE, Sussman M (2003) Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. **Current Opinion in Plant Biology** 6:268–272.

Roger A, Getaz M, Rasmann S, Sanders IR (2013) Identity and combinations of arbuscular mycorrhizal fungal isolates influence plant resistance and insect preference. **Ecological Entomology** 38: 330–338.

Rosegrant MW, Tokgoz S, Bhandary P (2012) The new normal? A tighter global agricultural supply and demand relation and its implications for food security. **American Journal of Agricultural Economics** 95: 303 – 309.

Rundlöf M, Andersson GKS, Bommarco R, Fries I, Hederström V, Herbertsson L, Jonsson O, Klatt BK, Pedersen TR, Yourstone J, Smith HG (2015). Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. **Nature** 521: 77–80.

Santos FA, Vilela M, Morais JC, Mendes SM (2017) **Silício como estratégia para o manejo de *Spodoptera frugiperda***. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E). Acesso em 12 outubro 2021.

Schausberger P, Peneder S, Juřschik S, Hoffmann D (2012) Mycorrhiza changes plant volatiles to attract spider mite enemies. **Functional Ecology** 26: 441–449.

Schoenherr AP, Rizzo E, Jackson N, Manosalva P, Gomez SK (2019). Mycorrhiza-Induced Resistance in Potato Involves Priming of Defense Responses Against Cabbage Looper (Noctuidae: Lepidoptera). **Plant-Insect Interactions** 1-12.

Semina S, Gavryshina I, Zheryakov E, Nikulina E (2020) The formation of corn grain yield when using silicon-containing preparations. Scientific Papers A. **Agronomy** 63(1).

Shrivastava G, Ownley BH, Auge RM (2015) Colonization by arbuscular mycorrhizal and endophytic fungi enhanced terpene production in tomato plants and their defense against herbivorous insect. **Symbiosis** 65: 65–74.

Silva DM, Freitas Bueno A, Santos Stecca C, Andrade K, Neves PMOJ, Oliveira MCN (2017) Biology of *Spodoptera eridania* and *Spodoptera cosmioides* (Lepidoptera: Noctuidae) on different host plants. **Florida Entomologist** 100:752-761.

Simon AL, Wellham PAD, Aradottir GI, Gange AC (2017) Unravelling mycorrhiza-induced wheat susceptibility to the English grain aphid *Sitobion avenae*. **Scientific Reports** 7:46497.

Singh G (2010) **The soybean: botany, production and uses**. London: CABI. 494p.

Smith SE, Read DJ (2008) **Mycorrhizal symbiosis**. 3<sup>o</sup> ed (Academic Press) p.800.

Souza PV, Machado BR, Zanuncio JC, Araújo MS, Alves GCS, Jesus FG (2016) Cultivation of resistant soybean varieties and application of silicon (Si) on biology of *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae). **Australian Journal of Crop Science** 10:1404-1409.

Sousa ACG, Souza BHS, Marchiori PER, Bôas LVV (2021) Characterization of priming, induced resistance, and tolerance to *Spodoptera frugiperda* by silicon fertilization in maize genotypes. **Journal of Pest Science** 95:1387–1400.

Sparks TC, Nauen R (2015) IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 121:122–128.

Stanley MR, Koide RT, Shumway DL (1993) Mycorrhizal symbiosis increases growth, reproduction, and recruitment of *Abutilon theophrasti* medic. In the field. **Oecologia** 94:30–35.

Steiner F, Zuffo AM, Bush A, Santos DMDS (2018) Silicate fertilization potentiates the nodule formation and symbiotic nitrogen fixation in soybean. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 48: 212–221.

Stout MJ (2020) Plant-insect interactions, host-plant resistance, and pest management. In: Kogan M, Higley L (eds.). **Integrated management of insect, mite and nematode pests in agriculture** - Vol 2: Current and Future Developments in IPM. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK.

Strazzi S (2015) Derivados do milho são usados em mais de 150 diferentes produtos industriais. **Revista Visão Agrícola / ESALQ** 13:146-150.

Sugiyama A, Ueda Y, Takase H, Yazaki K (2015) Do soybeans select specific species of *Bradyrhizobium* during growth? **Communicative & Integrative Biology**

Tomczak VV, Schweiger R, Müller C (2016) Effects of arbuscular mycorrhiza on plant chemistry and the development and behavior of a generalist herbivore. **Journal of Chemical Ecology** 42:1247–1258.

Tudi M, Daniel Ruan H, Wang L, Lyu J, Sadler R, Connell D, Chu C, Phung DT (2021) Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 18: 1112-1135.

Turzi M (2017) **The political economy of agricultural boom: Managing Soybean Production on Argentina, Brazil and Paraguay**. Palgrave Macmillan. 154p.

Ukwungwu M (1990) Host plant resistance in rice to the african striped borer, *Chilo zacconius* Bles. (Lepidoptera: Pyralidae). **International Journal of Tropical Insect Science** 11(4-5): 639-647.

Ulhoa LA, Barrigossi JAF, Borges M, Laumann RA, Blassioli-Moraes MC (2020) 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** 168: 76–90.

USDA (2021) **World agricultural production**. Washington: Foreign Agricultural Service, 36 p. (Foreign Agricultural Service. Documento, WAP 8-19).

Valicente FH (2015) **Manejo Integrado de Pragas na Cultura do Milho**. Sete Lagoas: Embrapa, 2015. 13p.

Vannette R L, Hunter MD (2011) Plant defence theory re-examined: nonlinear expectations based on the costs and benefits of resource mutualisms. **Journal of Ecology** 99:66–76.

Veljkovića VB, Biberdžić MO, Banković-Ilić IB, Djalović IG, Tasić MB, Nježić ZB, Stamenković OS (2018) Biodiesel production from corn oil: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 91: 531-548.

Villegas JM, Way MO, Pearson RA, Stout MJ (2017) Integrating Soil Silicon Amendment into Management Programs for Insect Pests of Drill-Seeded Rice. **Plants** 6(3):33.

Walker V, Couillerot O, Von Felten A (2012) Variation of secondary metabolite levels in maize seedling roots induced by inoculation with *Azospirillum*, *Pseudomonas* and *Glomus consortium* under field conditions. **Plant Soil** 356: 151–163.

Walsh OS, Shafian S, McClintick-Chess JR, Belmont KM, Blanscet SM (2018) Potential of silicon amendment for improved wheat production. **Plants** 7.

Wolfe BE, Husband BC, Klironomos JN (2005) Effects of a belowground mutualism on an aboveground mutualism. **Ecology letters** 8:218-223.

Xiao D, Che R, Liu X, Tan Y, Yang R, Zhang W, He X, Xu Z, Wang K (2019) Arbuscular mycorrhizal fungi abundance was sensitive to nitrogen addition but diversity was sensitive to phosphorus addition in karst ecosystems. **Biology and Fertility of Soils** 55: 457–469.

Yang H, Zhang Q, Dai Y, Liu Q, Tang J, Bian X, Chen X (2015) Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth depend on root system: a meta-analysis. **Plant Soil** 389:361–374.

Zhao S, Chen A, Chen C, Li C, Xia R, Wang X (2019) Transcriptomic analysis reveals the possible roles of sugar metabolism and export for positive mycorrhizal growth responses in soybean. **Physiologia Plantarum** 166:712–728.

Zubek S, Blaszkowski J, Stefanowicz AM, Majewska M (2016) Invasive plants affect arbuscular mycorrhizal fungi abundance and species richness as well as the performance of native plants grown in invaded soil. **Biology and Fertility of Soils** 52:879-893.

## CAPÍTULO 5 – Considerações finais

A busca de alternativas de controle de insetos-praga que minimizam os impactos negativos na saúde humana e no meio ambiente é essencial para a ampliação da produção sustentável de alimento no mundo. Para reduzir o impacto das pragas nas áreas é importante adotar um programa de manejo integrado de pragas (MIP) que visa usar diversas táticas de controle isoladamente ou em conjunto, levando em consideração o custo/benefício para o produtor e também questões ambientais e sociais. Os resultados deste trabalho foram importantes para buscar alternativas no cultivo dessas importantes culturas, como a seleção de novas fontes de resistência no feijão e demonstração que a fertilização com silício (Si) e a inoculação de fungos micorrizicos arbusculares (FMAs) nas raízes podem ser benéficos para a soja e o milho.

Neste estudo foi selecionado genótipos comerciais de feijão com fontes de resistência constitutiva e induzida a *Chrysodeixis includens* (Walker, 1858) (Lepidoptera: Noctuidae). Os genótipos de feijão resistentes constitutivamente foram: BRS MG Madrepérola (antixenose e antibiose), BRS Sublime (antixenose) e IAC 1850 (antibiose). Os genótipos de feijão que apresentaram respostas de defesa após o dano de *C. includens* foram: BRS Sublime (antixenose), IAC 1850 (antixenose), Pérola (antixenose e antibiose), IAC Sintonia (Nova seleção) (antixenose e antibiose), BRS FC 402 (antixenose e antibiose) e ANFC 9 (antibiose). Além disso, foi demonstrado o potencial do silício e dos FMAs de aumentar a resistência a insetos e melhorar o desenvolvimento das plantas de soja e milho.

Foi demonstrado metodologias para a seleção de genótipos comerciais, contribuindo para programas de melhoramento de plantas que visam identificar materiais com características de resistência a lagartas. Outros estudos ainda são necessários, como identificar os mecanismos responsáveis pela resistência constitutiva e induzida a *C. includens* para aumentar sua expressão ou incorporá-los em programas de melhoramento genético e identificar os diferentes compostos químicos que são produzidos pela indução por herbivoria. Além disso, avaliar a resistência a outros tipos de estresse e produtividade no campo dos genótipos selecionados de feijão e dos tratamentos com Si e FMAs na soja e no milho.