

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

CARLO ADRIANO BOER

**RESISTÊNCIA CONSTITUTIVA E INDUZIDA POR SILÍCIO EM HÍBRIDOS DE
MILHO A *Rhopalosiphum maidis* (FITCH., 1856) (HEMIPTERA: APHIDIDAE)**

UBERLÂNDIA/MG

2017

CARLO ADRIANO BOER

**RESISTÊNCIA CONSTITUTIVA E INDUZIDA POR SILÍCIO EM HÍBRIDOS DE
MILHO A *Rhopalosiphum maidis* (FITCH., 1856) (HEMIPTERA: APHIDIDAE)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio

UBERLÂNDIA/MG

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

B672r Boer, Carlo Adriano, 1970
2017 Resistência constitutiva e induzida por Silício em híbridos de milho a *Rhopalosiphum maidis* (Fitch., 1856) (Hemiptera: Aphididae) / Carlo Adriano Boer. - 2017.
70 p. : il.

Orientador: Marcus Vinicius Sampaio.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Milho - Doenças e pragas - Controle - Teses. 3. Pulgão-do-milho - Teses. 4. Pragas - Controle - Teses. I. Sampaio, Marcus Vinicius. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

CARLO ADRIANO BOER

**RESISTÊNCIA CONSTITUTIVA E INDUZIDA POR SILÍCIO EM HÍBRIDOS DE
MILHO A *Rhopalosiphum maidis* (FITCH., 1856) (HEMIPTERA: APHIDIDAE)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 14 de junho de 2017.

Dr. Hamilton Seron Pereira	UFU
Dr. Fernando Juari Celoto	UFU
Dr. Bruno Freitas De Conti	Monsanto do Brasil
Dr. Marina Robles Angelini	IFTM

Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio
UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

Aos meus pais **Inge Boer e Willemmina Jentje Boer**,
à minha querida esposa **Marisa Mendes Paixão
Boer**, e aos meus filhos **Lucas e Juliana**.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me proporcionado saúde, paz e por permitir que todas as dificuldades encontradas na execução deste trabalho fossem superadas.

À minha esposa, Marisa, e aos meus filhos, Lucas e Juliana, pelo amor, carinho, apoio e pelo encorajamento, que foram cruciais para que este trabalho se tornasse realidade.

Ao Prof. Dr. Marcus Vinicius Sampaio, pela valiosa orientação, pelo apoio e pela demonstração de respeito e caráter.

À empresa Monsanto do Brasil Ltda, especialmente aos Diretores do Departamento de Desenvolvimento de Tecnologias, Jennifer Ralston e Santiago Mazzini, e aos Gerentes Regionais de Desenvolvimento Tecnológico, Marcelo Barboza, Débora Branquinho e Anderson Pereira, pelo incentivo e pelas condições oferecidas durante a condução do curso de Doutorado.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira, Prof. Dr. Fernando Juari Celoto, Dr. Bruno Freitas De Conti e Prof.^a Dr.^a Marina Robles Angelini, pela disponibilidade e pelos ensinamentos.

Aos professores do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da Universidade de Federal de Uberlândia (UFU), pelos ensinamentos transmitidos.

Aos colegas e amigos do Doutorado em Agronomia da UFU, que estiveram de alguma forma presentes durante essa etapa, obrigado pelo companheirismo!

À professora Denise Garcia de Santana e ao colega Ernane Lemes, pelo apoio nas análises estatísticas.

Ao entomologista Dr. Bruno F. de Conti, pelas orientações para a instalação da criação de manutenção de pulgões.

À colega Ana Leticia Zero, pela ajuda na criação dos pulgões no Laboratório de Controle Biológico (LACOB) da UFU.

Às equipes do Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes (LAFER) e Laboratório de Análise de Solos (LABAS) da UFU, pelo apoio nas análises de solo e acúmulo de Silício.

À Agroneli, pela doação do Agrosilício e Calcário, para a realização dos experimentos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, (FAPEMIG) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Hymenoptera Parasitóides (INCHT-HYMPAR / CNPq, CAPES e FAPESP), pelo apoio financeiro.

RESUMO

BOER, Carlo Adriano. **Resistência constitutiva e induzida por silício em híbridos de milho a *Rhopalosiphum maidis* (Fitch., 1856) (Hemiptera: Aphididae)**. 2017. 70 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

A ação dos insetos-praga é um dos fatores que pode trazer prejuízos para a cultura do milho. Nesse contexto, o pulgão do milho, *Rhopalosiphum maidis* (Fitch., 1856) (Hemiptera: Aphididae), é uma praga que vem ganhando destaque, cujo controle, atualmente, dá-se quase exclusivamente por meio da aplicação de inseticidas, podendo causar danos ao meio ambiente e selecionar biótipos do pulgão resistentes aos defensivos. Dessa forma, o conhecimento dos híbridos comerciais resistentes e de métodos de controle que visem induzir a resistência das plantas a esses insetos são necessários, sendo o silício uma alternativa ao controle químico. Apesar de conhecidos os efeitos desse elemento no incremento da resistência de plantas a algumas espécies de insetos, estudos com *R. maidis* são escassos e o efeito desse elemento em híbridos com diferentes graus de resistência constitutiva ainda é pouco conhecido. Assim, os objetivos deste trabalho foram verificar a resistência de híbridos de milho a *R. maidis*, o acúmulo de silício na parte aérea das plantas e a indução de resistência, por esse elemento, em híbridos com diferentes graus de resistência constitutiva. Para tanto, foram instalados ensaios no campo para selecionar genótipos com indicativos estáveis de resistência e susceptibilidade. Em seguida a fim de se determinar padrões de susceptibilidade e resistência ao pulgão do milho, foi instalado um ensaio em casa de vegetação, com infestação manual do inseto, onde seu crescimento populacional foi avaliado. Em outro experimento instalado em casa de vegetação com os mesmos híbridos com e sem aplicação de silício, foi determinado o teor de silício na matéria seca desses germoplasmas. A indução de resistência foi determinada em ensaios com os híbridos padrão de resistência e susceptibilidade ao pulgão, selecionados do ensaio anterior, em infestação manual e natural da praga, em parcelas com e sem aplicação de silício no solo. Com os resultados, observou-se que os híbridos de milho apresentaram diferença no grau de resistência constitutiva a *R. maidis*. No campo, os híbridos BM8850, AS1625PRO e DKB310PRO foram susceptíveis e P30F53H, STATUS VIP, BM9288, DAS2B587HX, DKB175PRO, AS1633PRO e DKB390PRO2 foram os que apresentaram as menores percentagens de plantas com pulgões, indicando que esses híbridos foram resistentes a *R. maidis*. Quando foi avaliada a antibiose, pelo crescimento populacional do pulgão no ensaio de casa de vegetação, os híbridos AG7088PRO3 e DKB310PRO2 foram susceptíveis e P30F53YH resistente a essa espécie de afídeo. Além disso, germoplasmas de milho diferiram na capacidade de absorção de silício, sendo AG7098PRO2, AG8677PRO2, AS1633PRO2 e DKB390PRO2 mais eficientes no acúmulo desse nutriente e STATUS VIP menos eficiente. A adubação silicatada, via solo, promoveu a indução de resistência em plantas de milho a *R. maidis*, reduzindo a população natural do pulgão independente do grau de resistência constitutiva do híbrido.

Palavras-chave: adubação silicatada, afídeo, antibiose, produtividade.

ABSTRACT

BOER, Carlo Adriano. **Constitutive and induced resistance by silicon in corn hybrids to *Rhopalosiphum maidis* (Fitch., 1856) (Hemiptera: Aphididae)**. 2017. 70 p. Thesis (Doctorate degree in Agronomy/Plant Science) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

The action of pest insects is one of the factors that can bring damages to corn. In this context, the corn leaf aphid, *Rhopalosiphum maidis* (Fitch., 1856) (Hemiptera: Aphididae), is a pest that has been gaining prominence, whose control is currently accomplished almost exclusively by insecticide applications, which can cause damage to the environment and select aphid resistant biotypes to the agrochemicals. In this way, the knowledge of commercial resistant hybrids and methods of induced resistance in plants to those insects are necessary, being silicon an alternative to chemical control. Although the effects of this element in the increase of resistance of plants is known to some species of insects, studies with *R. maidis* are scarce and the effect of silicon in hybrids with different constitutive resistance degrees is still rather known. The objectives of this study were to determine the constitutive resistance of corn hybrids to *R. maidis* and the accumulation and the induction of resistance of silicon in hybrids with different constitutive resistance degrees. Therefore, field level trials were installed to select resistant and susceptibility genotypes. Then, in order to determine patterns of susceptibility and resistance to the corn leaf aphid, a greenhouse trial was installed, with manual insect infestation, where its population growth was evaluated. In another experiment installed in greenhouse with the same hybrids, with and without silicon fertilization, was determined the level of this element in the dry matter of those germplasms. The induction of resistance was determined in trials with aphid standard resistance and susceptibility hybrids, selected in the previous testing, with manual and natural infestation of the pest, in plots with and without soil silicon fertilization. The results showed that corn hybrids presented different constitutive resistance degrees to *R. maids*. In the field, the hybrids BM8850, AS1625PRO and DKB310PRO were susceptible and P30F53H, STATUS VIP, BM9288, DAS2B587HX, DKB175PRO, AS1633PRO and DKB390PRO2 were the ones that presented the smallest percentage of plants with aphids, indicating that these hybrids were resistant to *R. maidis*. When the antibiosis was evaluated by the aphid population growth, in the green house trial, the hybrids AG7088PRO3 and DKB310PRO2 were susceptible and P30F53YH resistant to this aphid. In addition, corn germplasm differ on silicon absorption capacity, being AG7098PRO2, AG8677PRO2, AS1633PRO2 and DKB390PRO2 more efficient for this nutrient accumulation and STATUS VIP less efficient. The silicon fertilization, via soil, induced resistance in corn plants to *R. maidis*, reducing the natural population of the aphid regardless hybrid constitutive resistance degree.

Keywords: aphid, antibiosis, silicon fertilization, yield.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Nome do agricultor, município, altitude, data de plantio e data do levantamento da infestação de pulgões em milho no estado de Minas Gerais, na safra verão 2012/13.....	31
TABELA 2. Resumo das análises de variância para os dados do percentual médio de plantas infestadas por <i>R. maidis</i> , de 22 híbridos de milho cultivados nos municípios de Patos de Minas - MG (1), Tupaciguara - MG (2) e Araguari - MG (3), na safra 2012/13.....	41
TABELA 3. Resumo da Análise de Variância da análise conjunta dos dados de percentual médio de plantas infestadas por <i>R. maidis</i> , de 22 híbridos de milho cultivados nos municípios de Patos de Minas-MG, Tupaciguara-MG e Araguari-MG, na safra 2012/13.....	42
TABELA 4. Percentual médio e erro padrão da média de plantas infestadas por <i>R. maidis</i> , em 22 híbridos de milho cultivados nos municípios de Patos de Minas-MG, Tupaciguara-MG e Araguari-MG, na safra 2012/13.	43
TABELA 5. Avaliação da estabilidade, segundo o método da Ecovalência (W_i e $W_i - \%$) para o percentual de plantas infestadas por <i>R. maidis</i> , em 22 híbridos de milho cultivados nos municípios de Patos de Minas-MG, Tupaciguara-MG e Araguari-MG, na safra verão 2012/13.	44
TABELA 6. Número médio de pulgões (<i>R. maidis</i>) por planta e erro padrão da média, em 9 híbridos de milho, aos 69 e 76 dias após a semeadura da cultura (DAS), em casa de vegetação. Uberlândia. 2016.	46
TABELA 7. Teor de silício na planta e erro padrão da média de 9 híbridos de milho, instalados em solo com baixo teor natural de silício, com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2016.	47
TABELA 8. Teor de silício na folha e erro padrão da média de dois híbridos de milho, plantados em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia, 2017.	48
TABELA 9. Número médio de pulgões (<i>R. maidis</i>) por planta de milho e erro padrão da média aos 54 dias após a semeadura da cultura (DAS), com infestação manual da praga em 2 híbridos de milho, plantados em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2016.....	48
TABELA 10. Resumo do quadro de ANAVA para as variáveis % de plantas com pulgão (<i>R. maidis</i>) e média de pulgões (<i>R. maidis</i>) por planta de milho, aos 54 e 61 DAS da cultura, com infestação natural da praga em 2 híbridos de milho e solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2016	49
TABELA 11. Percentual médio de plantas infestadas com <i>R. maidis</i> e erro padrão da média, aos 54 e 61 dias após a semeadura DAS, com infestação natural da praga, em 2 híbridos de milho, em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2016.	50
TABELA 12. Número de Pulgões (<i>R. maidis</i>) por planta e erro padrão da média, aos 54 e 61 dias após a semeadura (DAS), com infestação natural da praga, em 2 híbridos de milho, plantados em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2016.	51

TABELA 13. Valor de P, do quadro de análise de variância (ANAVA) das variáveis de colheita de 2 híbridos de milho, plantados em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2017.	52
TABELA 14. Produtividade de grãos e população de plantas por hectare de 2 híbridos de milho, plantados em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2017.	52
TABELA 15. Número de grãos por espiga e peso de 1000 grãos de 2 híbridos de milho, plantados em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2017.	53
TABELA 16. Altura de planta e de inserção de espiga de 2 híbridos de milho, plantados em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2017.	53
TABELA 17. Acamamento e quebramento de plantas de 2 híbridos de milho, plantados em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2017.	54

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1. Croqui do telado, demonstrando a localização do campo de criação de pulgões e o experimento de resistência induzida por silício em híbridos com diferentes graus de resistência constitutiva a *R. maidis* 38
- FIGURA 2. Croqui do experimento de resistência induzida por silício em híbridos com diferentes graus de resistência constitutiva a *R. maidis* 39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2.2.1 Verificar a resistência de híbridos de milho a <i>R. maidis</i> , visando determinar padrões de resistência e susceptibilidade.	13
2.2.2 Verificar se diferentes híbridos de milho apresentam alteração no acúmulo de silício nas plantas.	13
2.2.3 Verificar a indução de resistência, por silício, a <i>R. maidis</i> , em híbridos de milho com diferentes graus de resistência constitutiva.	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 RESISTÊNCIA DE PLANTAS A INSETOS	15
3.2 SILÍCIO	16
3.2.1 Silício nas plantas	18
3.2.2 Silício na indução de resistência de plantas a insetos	21
3.3 PULGÃO DO MILHO (<i>R. maidis</i>)	25
3.3.1 Aspectos Biológicos	26
3.3.2 Danos	28
4 MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1 RESISTÊNCIA CONSTITUTIVA DE HÍBRIDOS AO PULGÃO DO MILHO (<i>R. maidis</i>)	30
4.1.1 Infestação natural de <i>R. maidis</i> no campo	30
4.1.2 Crescimento populacional de <i>R. maidis</i> em casa de vegetação	32
4.1.2.1 Criação de manutenção de <i>R. maidis</i>	32
4.1.2.2 Condução do experimento em casa de vegetação	33
4.2 TEOR DE SILÍCIO EM HÍBRIDOS DE MILHO	35
4.2.1 Condução do Experimento	36
4.3 RESISTÊNCIA INDUZIDA POR SILÍCIO EM HÍBRIDOS COM DIFERENTES GRAUS DE RESISTÊNCIA CONSTITUTIVA AO PULGÃO DO MILHO (<i>R. maidis</i>)	37
4.3.1 Condução do Experimento	37
5 RESULTADOS	41

5.1 RESISTÊNCIA CONSTITUTIVA DE HÍBRIDOS DE MILHO AO PULGÃO DO MILHO (<i>R. maidis</i>).....	41
5.1.1 Infestação natural de <i>R. maidis</i> no campo.....	41
5.1.2 Crescimento populacional de <i>R. maidis</i> em casa de vegetação.....	44
5.2 ACÚMULO DE SILÍCIO EM HÍBRIDOS DE MILHO.....	46
5.3 RESISTÊNCIA INDUZIDA POR SILÍCIO EM HÍBRIDOS COM DIFERENTES GRAUS DE RESISTÊNCIA CONSTITUTIVA AO PULGÃO DO MILHO (<i>R. maidis</i>).....	47
5.3.1 Teor de silício foliar.....	47
5.3.2 Infestação manual de <i>R. maidis</i>	48
5.3.3 Infestação natural de <i>R. maidis</i>	49
5.3.4 Fatores de produtividade.....	51
6 DISCUSSÃO	55
6.1 RESISTÊNCIA CONSTITUTIVA DE HÍBRIDOS DE MILHO A <i>R. maidis</i>	55
6.2 ACÚMULO DE SILÍCIO EM HÍBRIDOS DE MILHO.....	56
6.3 RESISTÊNCIA INDUZIDA POR SILÍCIO EM HÍBRIDOS COM DIFERENTES GRAUS DE RESISTÊNCIA AO PULGÃO DO MILHO (<i>R. maidis</i>).....	57
7 CONCLUSÕES	60
8 REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais importantes do mundo por constituir a base da alimentação humana e animal. Segundo a USDA (2017), a estimativa de produção mundial desse grão para a safra 2016/17 é de mais de 1 bilhão de toneladas, o que constitui um recorde. Os maiores produtores mundiais são os Estados Unidos, seguido da China e Brasil. No Brasil, a previsão é para uma produção de 86,5 milhões de toneladas (verão + safrinha), indicando um incremento de 29,1% em relação à safra 2015/16 (USDA, 2017).

Grandes avanços em melhoramento genético e em tratos culturais têm permitido ganhos nos índices de produtividade da cultura nos últimos anos no país, no entanto danos provocados por insetos-praga ainda são um importante fator que traz prejuízos para a cultura. Nesse contexto, o pulgão do milho, *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (Hemiptera: Aphididae), é uma praga que vem ganhando destaque pelos danos ocasionados à cultura. Essa espécie de afídeo pode provocar má formação das plantas pela sucção de seiva do floema e, em populações elevadas, também pode afetar a polinização. Além disso, são vetores de viroses, como o mosaico comum do milho, que é uma das viroses mais importantes dessa cultura no Brasil, gerando perdas de até 50% da produtividade (MELLO et al., 2015).

O controle químico desse inseto, apesar de ser uma ferramenta amplamente utilizada por agricultores, é um grande desafio. O hábito do inseto de se abrigar no interior dos cartuchos das plantas, associado à sua alta taxa de reprodução, dificulta a identificação precoce, assim como o seu controle. Ademais, o uso indiscriminado de defensivos pode apresentar um custo elevado, além do risco de contaminar o meio ambiente e eliminar insetos benéficos, como predadores e parasitoides. Não obstante, Dedryver et al. (2010) comentam que essa prática tem selecionado biótipos resistentes a determinados princípios ativos em diversas espécies de afídeos.

Assim, o desenvolvimento de técnicas que permitam a redução do uso desses produtos é altamente benéfico. Um meio para atingir esse objetivo seria pela adoção de técnicas de manejo integrado de pragas (MIP), baseado em estratégias que promovam a redução do uso de agrotóxicos. Defensivos agrícolas são componentes chaves do MIP, mas somente devem ser utilizados quando todas as outras opções de controle falharem.

Nesse sentido, o controle genético seria uma alternativa ambientalmente segura para o manejo dessas pragas. A resistência constitutiva pode ser entendida como uma característica hereditária em que as plantas reduzem a população ou o dano de uma determinada praga à cultura. A resistência a pulgões tem sido descrita em diversas culturas (MANEVA et al., 2009; RASMJOU; GOLIZADEH, 2010; SILVA et al., 2013), e híbridos de milho apresentam variação nas características morfológicas e valores nutricionais, que podem influenciar a sobrevivência, desenvolvimento e fecundidade de afídeos (CISNEROS; GODFREY, 2001; RASMJOU; GOLIZADEH, 2010). Entretanto, no Brasil, não há conhecimento de genótipos de milho com características de resistência a *R. maidis* (MORAES et al., 2005), apesar de numerosos híbridos estarem disponíveis comercialmente, os quais podem diferir em suas qualidades como hospedeiros de *R. maidis*. Portanto, a identificação da resistência constitutiva desses germoplasmas é uma importante ferramenta que pode auxiliar no manejo dessa praga. Por outro lado, o uso de híbridos resistentes apresenta uma restrição regional, em virtude de sua adaptação e posicionamento restritos. Por isso, o desenvolvimento de outros métodos que visem aumentar o grau de resistência das plantas ao ataque desse inseto é também altamente desejável.

Nesse viés, diversos estudos têm mostrado que a aplicação de silício pode reduzir a taxa de crescimento populacional e causar maior mortalidade de pragas em diversas culturas, como trigo, sorgo e milho em laboratório ou em vasos em casa de vegetação (MORAES et al., 2004; GOMES et al., 2005; MORAES et al., 2005; COSTA et al., 2007; DIAS et al., 2014; ALMEIDA et al., 2015; REYNOLDS et al., 2016). Assim, um melhor entendimento da ação desse elemento na indução de resistência em plantas cultivadas no solo se faz necessário. Estudos sobre o acúmulo de silício por diferentes germoplasmas de milho são escassos e, por conseguinte, o seu efeito em híbridos com diferentes graus de resistência constitutiva a esse inseto é pouco conhecido. Razmjou e Golizadeh (2010) mencionam que um melhor entendimento da interação benéfica entre esses agentes permitiria o desenvolvimento de programas mais abrangentes de manejo de pragas em campos de milho

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar em condições de campo e de casa de vegetação híbridos de milho, visando definir padrões de resistência e susceptibilidade a *R. maidis*, além de verificar a alteração nos níveis de silício nessas

plantas, com o objetivo de induzir com esse elemento a resistência a *R. maidis* em híbridos com diferentes graus de resistência constitutiva.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a relação do silício na indução de resistência ao pulgão *R. maidis*, em germoplasmas de milho com diferentes graus de resistência constitutiva.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

2.2.1 Verificar a resistência de híbridos de milho a *R. maidis*, para determinar os padrões de resistência e susceptibilidade.

- Hipótese nula (H_0): não há diferença no grau de resistência constitutiva entre os híbridos de milho ao pulgão *R. maidis*.
- Hipótese alternativa (H_1): há diferença no grau de resistência constitutiva entre os híbridos de milho ao pulgão *R. maidis*.

2.2.2 Verificar se diferentes híbridos de milho apresentam alteração no acúmulo de silício nas plantas.

- Hipótese nula (H_0): híbridos de milho não acumulam silício quando há adubação com esse elemento.
- Hipótese alternativa (H_1): híbridos de milho acumulam silício quando há adubação com esse elemento.

($H_{1.1}$): Híbridos de milho acumulam silício em proporções semelhantes.

($H_{1.2}$): Híbridos de milho acumulam silício em proporções diferentes.

2.2.3 Verificar a indução de resistência, por silício, a *R. maidis*, em híbridos de milho com diferentes graus de resistência constitutiva.

- Hipótese nula (H_0): a adubação com silício não induz resistência a *R. maidis*, independente do grau de resistência constitutiva do híbrido de milho.
- Hipóteses alternativas (H_1): a adubação com silício induz resistência a *R. maidis*, em híbridos de milho.

($H_{1.1}$): O silício induz resistência a *R. maidis*, independente do grau de resistência constitutiva do híbrido.

($H_{1.2}$): O silício induz resistência a *R. maidis*, dependendo do grau de resistência constitutiva do híbrido.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 RESISTÊNCIA DE PLANTAS A INSETOS

A resistência de plantas encontra-se entre os métodos mais conhecidos de controle de insetos e adequa-se ao manejo integrado de pragas (MIP), pois se trata de uma forma alternativa ao controle químico convencional no controle de pragas. Pode ser descrito como “a soma de características genéticas que determinam o grau final de dano causado pelo inseto” (PAINTER, 1951; SMITH; CLEMENT, 2012).

As plantas desenvolveram um arsenal sofisticado para defender seus tecidos do ataque de herbívoros, utilizando substâncias secundárias tóxicas ou fagodeterrentes e barreiras físicas, formando defesas diretas tóxicas, não nutritivas ou repelentes. As defesas das plantas são constitutivas ou induzidas pelo ataque do herbívoro (HARBONE, 1993). As substâncias voláteis induzidas por esse ataque podem repelir outros herbívoros e atrair os inimigos naturais, o que é chamado de defesa indireta (BRUCE 2015). Dessa forma, os genótipos das plantas apresentam diferentes níveis de resistência aos insetos, sejam elas constitutivas, induzidas diretas ou indiretas.

Os tipos de resistência são conhecidos como antibiose, não-preferência e tolerância (SMITH, 2005). Não-preferência ocorre quando a planta é menos utilizada para alimentação, oviposição ou abrigo em comparação com outra em igualdade de condições. Em outras palavras, ela ocorre quando uma planta com determinadas características, como compostos repelentes, deterrentes, presença de tricomas e superfícies cerosas, é menos atacada pelos insetos do que outra planta que não possui essas características (SMITH, 2005). Já a antibiose ocorre quando, ao se alimentar de uma planta resistente, processos biológicos do inseto são afetados pelas defesas presentes nas plantas, provocando efeitos fisiológicos, como morte de instares iniciais, distúrbios fisiológicos, como declínio no tamanho e peso de larvas e ninfas, prolongamento do período larval, diminuição da fecundidade e distúrbios morfogênicos, como precocidade na formação de pupas (PANDA; KUSH, 1995).

No caso da tolerância, a herbivoria não afeta o comportamento e nem a biologia do inseto. Uma planta apresenta esse mecanismo de resistência quando é menos danificada em relação a outras, sob um mesmo nível de infestação por uma determinada

praga. Assim, pode-se dizer que é uma planta que possui a capacidade de suportar o ataque da praga, quer seja pela regeneração dos tecidos destruídos, emissão de ramos ou perfilhos, quer seja por outro meio qualquer, de forma que o ataque não chegue a provocar queda significativa na quantidade e qualidade de sua produção. Esse mecanismo de resistência depende exclusivamente da planta e não atua sobre o inseto (HORBER, 1980; TINGEY, 1986; LARA, 1991; REESE et al., 1994; MAURICIO et al., 1997).

Segundo Reese et al. (1994), a tolerância apresenta algumas vantagens em relação aos mecanismos de antibiose e não-preferência. Primeiramente, pelo fato de ser uma resposta da planta, não afetar o comportamento, reprodução ou desenvolvimento do inseto, não exercendo, portanto, pressão de seleção, o que pode ocorrer com a antibiose e a não-preferência. Entretanto, segundo Teetes (1980) e Reese et al. (1994), a tolerância apresenta como desvantagem a dificuldade de separá-la da antibiose e da não-preferência e, ainda, de quantificá-la com precisão, principalmente pelo fato de ser mais afetada pela temperatura, sendo reduzida ou mesmo anulada sob condições térmicas mais baixas (TINGEY; SINGH, 1980).

3.2 SILÍCIO

O silício (Si) é o segundo elemento em abundância na crosta terrestre depois do oxigênio, compondo aproximadamente 27% da sua massa, e é considerado como o mais importante mineral secundário na formação dos solos. Nesses, o silício solúvel ou disponível para as plantas (H_4SiO_4 - ácido monossilícico) pode ter origem nos processos de intemperização dos minerais primários e, particularmente, dos minerais secundários, como os argilo-silicatos (KORNDÖRFER, 2015). A maioria dos solos contém consideráveis quantidades de silício. Apesar disso, cultivos consecutivos podem reduzir o nível desse elemento até um ponto em que a adubação seja necessária. Segundo Korndörfer et al. (1999), os valores de Si, no solo, extraídos com ácido acético $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ inferiores a 20 mg dm^{-3} , ou ainda de 6 a 8 mg dm^{-3} extraídos em $CaCl_2 0,05 \text{ mol L}^{-1}$, em geral, indicam a necessidade de adubação com Si. De acordo com os mesmos autores, esses solos apresentam boa resposta à aplicação desse elemento e, acima desses valores, as respostas tendem a ser mais discretas.

Solos tropicais e subtropicais intemperizados e lixiviados, com sucessivos cultivos, tendem a apresentar baixos níveis de Si trocável, de modo a haver, assim, a necessidade de reposição desse fertilizante por meio de adubações (LIMA FILHO et al., 1999). Entretanto, são diversos os fatores que influenciam a sua disponibilidade para as plantas, como o tipo de solo e o seu uso, a matéria orgânica, a temperatura, o pH e a textura do solo (LIANG et al., 1994; ALEXANDRE et al., 1997; STRUYF et al., 2010; CORNELIS et al., 2011; HAN et al., 2011; MILES et al., 2014; ANDA et al., 2015)

De acordo com Epstein (1972), um dos critérios para que um nutriente seja considerado essencial é o de que, na sua total ausência, a planta não consiga completar o seu ciclo vital, ou seja, a formação de sementes viáveis. Entretanto, não existem evidências de que plantas não completem o seu ciclo de vida na ausência desse elemento. As suas sementes podem atingir a maturidade fisiológica sem o suprimento de Si, embora o seu desenvolvimento e a produção de grãos e de frutos sejam significativamente reduzidos com a sua deficiência. Um argumento é que o silício pode funcionar como um micronutriente e, desse modo, não é possível remover completamente o silício do meio de crescimento pelas técnicas atuais de avaliação. Entretanto, o fato de que o efeito é maior quando mais silício é acumulado nos brotos de uma planta sugere que uma quantidade muito grande desse elemento é requerida para as suas funções na planta. Outro critério de essencialidade de nutrientes é que o elemento precisa estar diretamente envolvido no metabolismo das plantas (EPSTEIN, 1972), entretanto, ainda faltam evidências sobre o envolvimento do silício nesse ponto, apesar de alguns autores lhe atribuírem várias funções, tais como o estímulo à fotossíntese, ao aumento da rigidez de tecidos e à redução da taxa de transpiração. Todas essas funções contribuem para aumentar a produção de matéria seca e para a resistência das plantas a estresses físicos, químicos e biológicos (MA; TAKAHASHI, 2002; SILVA; BOHNEN, 2003). Portanto, não há ainda um consenso na literatura a respeito da essencialidade do silício como nutriente para as culturas, embora, recentemente, o Instituto Internacional de Nutrição de Plantas (IPNI), na Georgia, USA, tenha reconhecido o silício como uma “substância benéfica”, em virtude de sua importante função na nutrição de plantas, particularmente sob condição de stress (IPNI, 2015).

3.2.1 Silício nas plantas

O silício é absorvido pelas raízes das plantas como ácido monossilícico (H_4SiO_4) de forma passiva (JONES; HANDRECK, 1967). Segundo Balasta et al. (1989), uma vez absorvido, o silício é transportado via xilema para todas as partes da planta, estando presente nas paredes desse vaso – tendo a função de aumentar a sua resistência à compressão durante a tensão respiratória – e se acumulando principalmente nas áreas de máxima transpiração, sendo depositado como ácido silícico polimerizado (sílica amorfa ou opala biogênica ($SiO_2.nH_2O$)) na epiderme foliar junto às células-guarda dos estômatos e a outras células epidérmicas. Esses depósitos de sílica nos tecidos foliares, principalmente na parede celular, aumentam a rigidez das células, promovem a redução na taxa de transpiração, aliviam os efeitos adversos da deficiência de fósforo (P), de metais pesados e da salinidade. Logo, a impregnação das paredes celulares com sílica contribui para a resistência das plantas contra o ataque de insetos e de fungos (BARBOSA FILHO et al., 2000; KORNDÖRFER, 2015), de forma que as células epidérmicas ficam mais grossas e com um grau maior de lignificação e/ou silicificação, de modo a formar uma barreira mecânica ao ataque de fungos e insetos (ADATIA; BESFORD, 1986). Uma vez depositado, o silício torna-se imóvel (RAVEN, 1983).

Os efeitos positivos do silício contra estresses bióticos e abióticos não são sempre evidentes, visto que o seu acúmulo difere entre as espécies de plantas e também entre cultivares da mesma espécie (DEREN, 2001; MITANI; MA, 2005; KEEPING; REYNOLDS, 2009; GUNTZER et al., 2012), podendo variar de 0,1 a 10% da matéria seca (EPSTEIN, 1999; MA; TAKAHASHI, 2002; HODSON et al., 2005). As culturas que respondem à aplicação de silício incluem algumas monocotiledôneas, como arroz (*Oriza sativa*), milho (*Zea mays* L.) e trigo (*Triticum aestivum* L.), que ativamente absorvem e acumulam grandes quantidades de silício, junto a algumas culturas dicotiledôneas como o algodão (*Gossypium hirsutum* L.), a soja (*Glycine max* (L.) Merr.), o tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) e algumas espécies de cucurbitáceas que acumulam silício através de transportadores específicos (LIANG et al., 2015). Apesar de amplamente documentados, os efeitos benéficos da aplicação de silício no desenvolvimento das plantas normalmente demonstram o seu maior potencial na ocorrência de algum estresse. Notadamente, respostas bioquímicas ou moleculares (e frequentemente respostas no desenvolvimento vegetativo e produtividade de plantas),

devido à fertilização com silício, usualmente, apenas expressam-se na presença de estresses bióticos ou abióticos.

Estudos têm demonstrado que o silício frequentemente alivia ou anula os efeitos adversos de vários fatores de estresses bióticos na forma de doenças de plantas, incluindo fungos, bactérias, viroses e animais (vertebrados e artrópodes herbívoros); e abióticos, incluindo o stress hídrico e de salinidade, a toxicidade de metais pesados, do excesso de fósforo (P) e nitrogênio (N) e redução no acamamento de plantas (LIANG et al, 2015). Os principais mecanismos de defesa têm sido atribuídos a fatores físicos, bioquímicos ou moleculares (BARAH; BONES, 2015; REYNOLDS et al., 2016).

Mais recentemente, o sequenciamento de alto rendimento e o acesso mais fácil aos dados genômicos permitiu a determinação precisa da capacidade de uma planta para acumular silício, baseado em sua predisposição genética (LIANG et al., 2015; CALLANDRA et al., 2016).

Até o descobrimento de genes específicos envolvendo o transporte de silício, o seu acúmulo nas plantas era pouco entendido. Os mesmos são responsáveis pelo seu transporte no xilema, e estão presentes principalmente nas pontas das raízes, mas também na bainha e na lâmina das folhas. O gene LSi1 é um transportador responsável por influir o silício a partir da solução do solo até as células das raízes e sua expressão ocorre principalmente nas próprias raízes. LSi2 é um transportador responsável por mediar o transporte de Si das células das raízes ao apoplasto (MA et al., 2006, 2007; YAMAJI et al., 2008). Esses genes foram descritos pela primeira vez em arroz, porém genes homólogos já são reportados em cevada (*Hordeum vulgare* L.), milho e trigo (CHIBA et al., 2009; MITANI et al., 2009; MONTPETIT et al., 2012). Ademais, genes que codificam transportadores de silício também foram registrados em dicotiledôneas. Plantas de abóbora (*Cucurbita moschata* Poir) foram as primeiras dicotiledôneas a registrar um gene que codifica um transportador que influxa (LSi1) (MITANI et al., 2011), e dois transportadores que efluxam silício (CmLSi2-1 e CmLSi2-2) (MITANI-UENO et al., 2011). Posteriormente, dois genes transportadores que influxam silício (GmNIP2-1 e GmNIP2-2) em soja (DESHMUKH et al., 2013) e pepino (CSiT-1, CSiT-2) (WANG et al., 2015) também foram registrados.

De forma geral, o Si concentra-se nos tecidos de suporte e/ou sustentação do caule, nas folhas e, em menores concentrações, nas raízes. Nas folhas, esse elemento está envolvido com funções físicas de regulação da transpiração, já que é capaz de

concentrar-se na epiderme, de maneira a formar uma barreira de resistência mecânica à invasão de fungos e de bactérias para o interior da planta, dificultando também o ataque de insetos sugadores e de herbívoros (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995; DANNON; WYDRA, 2004; HARTLEY et al., 2015). Além disso, a distribuição dos depósitos de Si nas plantas depende da espécie vegetal e das condições climáticas do ambiente onde elas crescem (WRANG et al., 1998; HARTLEY et al., 2015). Em ambientes como o "cerrado brasileiro", o acúmulo de Si nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada de sílica, o que causa redução da transpiração por diminuir a abertura dos estômatos, limitando a perda de água (FARIA, 2000; KORNDÖRFER et al., 2001).

Uma maior barreira física produzida pela deposição de silício sob as cutículas das folhas tem sido considerada como um importante componente implícito à resistência das plantas a pragas. A deposição de silício contribui para aumentar a rigidez e abrasividade de tecidos vegetais, formando uma barreira mecânica e reduzindo sua palatabilidade e digestibilidade para vertebrados (MASSEY; HARTLEY, 2006, 2009) e invertebrados herbívoros (GOUSSAIN et al., 2005; KVEDARAS et al., 2007). A maior abrasividade das folhas em virtude da deposição de silício reduz a qualidade do alimento para herbívoros, podendo causar desgaste de suas peças bucais, que reduz ainda mais a eficiência alimentar e as taxas de crescimento (GOUSSAIN et al., 2002; MASSEY; HARTLEY, 2009). Por outro lado, Kvedaras et al. (2007), utilizando um método simples para determinar o desgaste mandibular verificaram que, embora houvesse uma tendência ao aumento do desgaste em larvas de *Eldana saccharina* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae), desenvolvidas em cana-de-açúcar tratada com silício, a capacidade de renovarem suas mandíbulas em cada troca de ínstar provavelmente lhes permitia compensar o desgaste.

Porém, a barreira física proporcionada pelo silício nas células epidérmicas não é o único mecanismo de defesa ao ataque de insetos ou à penetração das hifas de fungos. Fawer et al. (1998) identificaram uma proteção ativa induzida por esse elemento dentro das células vegetais, demonstrando que o Si começa uma sequência de reações que iniciam mecanismos de defesas bioquímicas nas plantas infectadas. Gomes et al. (2005) observaram que o silício atua como um elicitador no sistema de defesa da planta, afetando sinais químicos entre o hospedeiro e o patógeno, resultando em uma ativação mais rápida dos mecanismos de defesa da planta por meio do aumento da síntese de

compostos fenólicos de defesa, o que eleva a atividade das enzimas polifenoloxidase (PPO), peroxidases (POX) e fenilalanina-amônia-liase (PAL), afetando negativamente a taxa de crescimento e a preferência por plantas tratadas com esse mineral. Costa et al. (2011) também verificaram que a ação de defesa mediada pelo silício afetou negativamente a preferência e a taxa de crescimento populacional do pulgão verde *Schizaphis graminum* (Rondani) em trigo, além de providenciar um incremento nas atividades das enzimas POX, PPO e PAL.

A POX está relacionada à síntese de lignina e suberina, as quais aumentam a dureza dos tecidos e a produção de quinonas e oxigênio ativo, que possuem atividades antibióticas (GOODMAN et al., 1986; BOWLES, 1990; STOUT et al., 1994). Além de estar envolvida no processo de lignificação, a PPO também é responsável pela catálise da oxidação de fenóis para quinonas, que se tornam complexadas com proteínas, diminuindo a qualidade nutricional do alimento e dificultando a digestão das proteínas (FELTON et al., 1994; MOHAMMADI; KAZEMI, 2002). A PAL está relacionada com a síntese de compostos fenólicos e propriedades antinutricionais e tóxicas (APPEL, 1993). Dessa forma, um aumento nas atividades dessas enzimas indica a síntese de componentes de defesa da planta contra agentes externos. Segundo Dreyer e Campbell (1987), o mecanismo de resposta da planta ao ataque de insetos sugadores é similar ao do ataque de outros patógenos.

3.2.2 Silício na indução de resistência de plantas a insetos

A impregnação das paredes celulares com sílica contribui para a resistência das plantas contra o ataque de fungos e de pragas (DAYANANDAM et al., 1983; EPSTEIN, 1994; BARBOSA FILHO et al., 2000). Isso ocorre pela associação da sílica com constituintes da parede celular, de modo que ela se torna menos acessível às enzimas de degradação (resistência mecânica), convertendo-se em uma alternativa viável de manejo de organismos-praga.

Há pelo menos meio século, diversos autores têm relatado que a aplicação de silício pode reduzir a taxa de crescimento populacional, causar maior mortalidade de insetos, além de estimular o crescimento e a produção vegetal. Djamin e Pathak (1967) investigaram a ação desse elemento contra a broca-do-colmo-do-arroz *Chilo suppressalis*

(Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) em 20 variedades de arroz, e concluíram que, nas variedades com alto teor de silício, um menor número de lagartas foi encontrado, o que diminuiu o percentual de plantas com o sintoma conhecido como “coração morto”. Verificaram, ainda, alta correlação linear negativa ($r=-0,80$) entre a sobrevivência das lagartas e a porcentagem de silício encontrada nas plantas. A concentração de silício nas plantas afetou a sobrevivência das lagartas e reduziu os sintomas de coração morto, de forma que a alimentação desses insetos também sofreu redução, sendo a sua mortalidade correlacionada ao excessivo desgaste da região incisora da mandíbula.

Kin e Heinrichs (1982) estudaram o efeito de quatro doses de silício (0, 50, 100 e 150 ppm de SiO_2) em solução nutritiva em plântulas de arroz contra ninfa da cigarrinha *Sogatella furcifera* (Horváth) (Hemiptera: Delphacidae). Os autores observaram que poucas ninfas transformaram-se em adultos nas plantas tratadas com silício e que o número de machos cresceu com o aumento da dose desse mineral. Salim e Saxena (1992) também observaram que a adição de silício como solução nutritiva reduziu a alimentação, o desenvolvimento, a longevidade e a fecundidade desse inseto na cultura.

Tayabi e Azizi (1984), avaliando o efeito de várias doses de silicato de potássio (0, 100, 250, 500, 750 e 1000 kg ha^{-1}) sobre o rendimento e resistência de arroz à broca-do-colmo *Chilo supremain* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae), constataram que a aplicação de 500 kg ha^{-1} teve efeito positivo sobre o número de panículas planta⁻¹, panículas m^{-2} e de grãos m^{-2} . O número de lagartas dessa praga foi de 23 e 47 m^{-2} para as doses de 1.000 e 500 kg ha^{-1} , respectivamente, contra 112 nos locais em que não foi aplicado o silício.

O efeito de diferentes fontes de silício sobre o tripses *Stenchaetothrips biformis* (Bagnall) (Thysanoptera: Thripidae), a mosca-da-galha *Orseolia oryzae* (Wood-Mason) (Diptera: Cecidomyiidae) e a lagarta-enroladeira *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenee) (Lepidoptera: Pyralidae), insetos-praga da cultura do arroz, foi investigado por Subramanian e Gopalswamy (1988). Esses autores concluíram que, nos tratamentos em que foi adicionado silício, o número de tripses por folha foi significativamente menor em relação ao tratamento sem silício. Também foi constatado que a porcentagem populacional da mosca-da-galha e da lagarta-enroladeira diminuiu com a adição de silício.

A resistência de 11 cultivares de arroz a *Chilo agamemnon* Bles. (Lepidoptera: Pyralidae) e *Hydrellia prosternalis* Deeming (Diptera: Ephydriidae) foi investigada por Soliman et al. (1997). Nesse trabalho, foram determinados proteína total, silício natural e aminoácidos livres. Seus autores concluíram que uma maior quantidade de proteína aumentou a infestação de *C. agamemnon* e diminuiu a infestação de *H. prosternalis* na maioria das cultivares, tendo o maior teor de silício diminuído a infestação de ambos os insetos-praga. Segundo Sogawa (1982), a concentração de 10 mg litro⁻¹ de SiO₂ teve um efeito inibitório na sucção da seiva por uma espécie de cigarrinha em plantas de arroz.

A resistência de 19 genótipos de capim ao ataque do gorgulho-das pastagens, *Listronotus bonariensis* (Kruschel) (Coleoptera: Curculionidae) foi estudada por Barker (1989). Verificou-se que o número de ovos nas plantas foi correlacionado negativamente com a densidade de depósitos de silício na superfície abaxial das bainhas, o que também dificultou a alimentação das larvas.

Puzyrkov et al. (1996) investigaram a possibilidade da utilização de um composto orgânico-silícico (tetraetoxisilane-TES) como método alternativo para reduzir a quantidade de inseticidas e fungicidas para o controle do besouro do colorado *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae) e do fungo causador da doença conhecida como requeima, *Phytophthora infestans* (Mont.), na cultura da batata. Houve uma redução na aplicação de pesticidas de 11 para 2 a 5 kg ha⁻¹ e aumento na produção de 9% a 24%.

Carvalho et al. (1999), estudando o efeito do silício na resistência do sorgo ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani) (Homoptera: Aphididae), verificaram que o mineral causou redução na preferência e na reprodução dessa praga. Resultados semelhantes foram encontrados por Moraes e Carvalho (2002), ao avaliarem o efeito do silício como agente indutor de resistência do sorgo ao *S. graminum*, concluindo que a adição de silicato de sódio (Na₂SiO₂) (média de 27% de SiO₂) na proporção de 2 mL L⁻¹ de solo reduz a reprodução e o desenvolvimento do pulgão.

Na cultura do trigo, Basagli et al. (2003) realizaram aplicações sequenciais de solução de silicato de sódio a 0,4% de SiO₂, por seis vezes, em intervalos de cinco dias, sendo a primeira, cinco dias após a emergência das plantas. Constataram que o silício reduziu a preferência, a longevidade e a produção de ninfas de *S. graminum*, conferindo, portanto, resistência das plantas de trigo a esse inseto-praga. Moraes et al. (2004)

também verificaram que a aplicação de silício aumentou o grau de resistência das plantas de trigo, diminuindo a preferência do pulgão-verde por estas plantas. Goussain et al. (2005) observaram uma redução no período reprodutivo, longevidade e fecundidade dessa espécie com a aplicação no solo de 2,5 g kg⁻¹ de solo de silicato de cálcio (38% SiO₂) mais uma adubação foliar na concentração de 0,5% de SiO₂, 15 dias após a emergência. Dias et al. (2014), por sua vez, observaram que a fertilização com silício pode reduzir a colonização em plantas de trigo, tanto na fase vegetativa como na reprodutiva, assim como a preferência de alados de *Sitobion avenae* (Fabricius).

Goussain et al. (2002) estudaram o efeito do silício na mortalidade da lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda* (Smith), em milho, e verificaram um efeito significativo na mortalidade de lagartas ao final do 2º ínstar, alimentadas com folhas provenientes de plantas que receberam esse mineral em aplicações via solo. Observaram, ainda, uma porcentagem oito vezes maior de canibalismo entre lagartas confinadas em folhas tratadas com silício em relação àquelas lagartas que se alimentaram de folhas de plantas que não receberam esse elemento, sendo as taxas de canibalismo de 44% e 5,2%, respectivamente. Segundo os autores, possivelmente, a camada de silício depositada na folha dificultou a alimentação, induzindo altas taxas de canibalismo entre as lagartas. A lagarta-do-cartucho apresenta esse comportamento alimentar de forma mais acentuada quando sujeita a estresse alimentar. Ainda de acordo com esses autores, no 2º e 6º ínstars de *S. frugiperda* foram verificados efeitos significativos do silício nas taxas de mortalidade dessa espécie, sendo, respectivamente, de 36,3% e 20,9%. Na testemunha, a mortalidade foi de 14,5% e 7,9%. A ocorrência da alta mortalidade no 2º ínstar larval pode estar relacionada à dificuldade de alimentação das lagartas ainda pequenas, que não conseguiram raspar os alimentos provenientes de folhas de plantas que receberam adubação com silício, devido, possivelmente, à maior rigidez desses tecidos. Já no 6º ínstar, que é o mais longo, a alta mortalidade no tratamento com silício pode estar relacionada, segundo esses autores, à ação da barreira mecânica proporcionada pela deposição desse elemento na parede celular das folhas, aumentando a dureza do alimento.

Moraes et al. (2005) testaram o efeito do silício na preferência do pulgão *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) em plantas de milho, por meio de testes de não-preferência com folhas destacadas e diretamente em plantas de milho. Verificou-se que os tratamentos nos quais o silício foi aplicado no solo, acrescentando mais uma

adubação foliar, ou mediante duas aplicações foliares, foram os que apresentaram menor número de pulgões, possivelmente em virtude do aumento da resistência das folhas, o que dificultou a alimentação desses insetos.

Entretanto, Neri et al. (2005), estudando o efeito de aplicações foliares de silício na biologia do pulgão *R. maidis* na cultura do milho, observaram que o silício apenas afetou a alimentação do pulgão por retardar o início da alimentação, indicando uma redução do período de ingestão do floema, porém isso não foi suficiente para evitar o início da fase floemática. Essa demora deve-se, provavelmente, à barreira mecânica formada pelo silício (EPSTEIN, 1994) e ao possível aumento das defesas bioquímicas da planta (LIANG et al., 2003; GOMES et al., 2005; CAI et al., 2008; RAHMAN et al., 2015). Os mesmos autores constataram ainda que não foram verificadas diferenças significativas entre o número de aplicações de silício, indicando que não é esse ponto que pode exercer influência na indução de resistência, mas sim a forma de aplicação.

Estudando o efeito na atratividade de *R. maidis* em plantas de milho tratadas com diferentes fontes silicatadas, Almeida et al. (2015) também observaram que a aplicação via solo mostrou-se mais eficiente, contribuindo para um aumento na indução da não-preferência para alimentação desse inseto. Furlani (2004) atribui essa indução à absorção foliar mais lenta em relação à radicular, pois os pequenos poros das folhas e os estômatos permitem uma entrada restrita de nutrientes. Liang et al. (2015) e Dallagnol et al. (2015) também observaram que o silício aplicado no solo conduz a um acúmulo significativamente maior desse elemento em tecidos vegetais do que aplicações foliares e, produzindo melhores resultados contra estresses bióticos.

3.3 PULGÃO DO MILHO (*R. maidis*)

O pulgão-do-milho *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (Hemiptera: Aphididae) tem, provavelmente, origem asiática, é cosmopolita e não consegue sobreviver em regiões com invernos severos. Esse inseto tem como plantas hospedeiras o milho (*Zea mays* L.), o sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.), a cevada (*Hordeum vulgare* L.), a aveia (*Avena sativa* L.), o triticale (*Secale cereale* L.) e mais de 30 espécies de gramíneas, incluindo os gêneros *Triticum*, *Oryza* e *Saccharum* (BLACKMAN; EASTOP, 2000). No Brasil, é encontrado principalmente em regiões onde se cultivam o milho safrinha e a cultura do

sorgo, causando danos econômicos (GOUSSAIN, 2001). Segundo Cruz et al. (1997), esses insetos desenvolvem-se em colônias, principalmente nos pontos de crescimento, como cartucho, pendão e gemas florais. São responsáveis pela sucção da seiva, além de proporcionar o desenvolvimento da fumagina e serem vetores de viroses, como o mosaico comum (MMSV).

3.3.1 Aspectos Biológicos

Rhopalosiphum maidis é um afídeo que possui corpo alongado de coloração amarelo-esverdeada ou azul esverdeada, com manchas negras na área ao redor dos sifúnculos. Seu tamanho varia de 0,9 a 2,6 mm de comprimento, possuindo pernas e antenas de coloração negra, tubérculos antenais pouco desenvolvidos, antenas curtas com seis segmentos e processo terminal do segmento VI com 2 a 2,3 vezes o comprimento da base. Ademais, seus sifúnculos têm a base mais larga que o ápice, além de coloração negra e com constrição apical e cauda de coloração negra com dois pares de cerdas laterais (GASSEN, 1996; PINTO et al., 2004; SALVADORI; TONET, 2001; STOETZEL; MILLER, 2001).

Segundo Waquil et al. (2003), essa espécie é encontrada vivendo em colônias formadas por fêmeas adultas e formas jovens (ninfas), alimentando-se de seiva e sugando os tecidos mais tenros da planta, sejam estruturas vegetativas ou reprodutivas. Geralmente, ficam protegidas de seus inimigos naturais dentro do cartucho da planta de milho, o que dificulta sua observação pela maioria dos produtores. Nas colônias, a forma adulta frequentemente observada é a áptera. A forma alada, que é responsável pela sua dispersão nas lavouras é encontrada quando a população do inseto na planta é alta, a fonte de alimento está se esgotando ou as condições ambientais são desfavoráveis.

A reprodução deste inseto é assexuada (anhocíclicos), sendo realizada exclusivamente por partenogênese telítoca, isto é, os embriões desenvolvem-se no interior do corpo das fêmeas, a partir de óvulos não fecundados, originando sempre fêmeas (GASSEN, 1996). Segundo Blackman e Eastop (2000) machos podem aparecer esporadicamente, mas fêmeas ovíparas e ovos de inverno ainda não foram observados.

A temperatura ideal para o desenvolvimento de *R. maidis* fica entre 18 e 24° C. Nestas condições de temperatura e com o clima seco, aproximadamente sete dias após o nascimento das ninfas este inseto atinge a fase adulta. Apresenta alta capacidade de proliferação, sendo que cada fêmea pode dar origem a até seis ninfas por dia. A duração média do ciclo biológico é de 28 dias. Fatores climáticos como vento e chuvas frequentes são desfavoráveis ao crescimento populacional deste inseto (GASSEN, 1996; MAIA et al., 2003).

A infestação por esse afídeo inicia-se em plantas isoladas, dispersando-se em reboleiras na lavoura durante o período vegetativo e, principalmente, próximo ao lançamento do pendão. Nesse período, as folhas encontram-se enroladas e os insetos sugam a seiva continuamente e multiplicam-se com facilidade (GASSEN, 1996). Ainda de acordo com esse autor, a combinação de baixas precipitações com altas temperaturas beneficia o rápido desenvolvimento e a dispersão desse inseto que, ao colonizar lavouras novas normalmente não é percebido, em virtude de estarem protegidos no cartucho das folhas. Além disso, a carência de água é benéfica para os afídeos, pelo aumento da concentração de nutrientes nos tecidos vegetais, principalmente aminoácidos, até o ponto no qual a redução da pressão osmótica seja o fator limitante para a ingestão de seiva pelo inseto. Outrossim, Bing et al. (1991) relataram que *R. maidis* infestam as plantas de milho a partir do estádio de 2 a 4 folhas e diminuem o seu crescimento populacional com o florescimento da cultura.

Os indivíduos alados, que são menores e responsáveis pela dispersão, também se alojam no cartucho do milho formando novas colônias que se desenvolvem no pendão em formação e nas gemas florais. Essas colônias só serão visualizadas próximo ao estádio de pendoamento, quando a população já está bem alta e, muitas vezes, a produção prejudicada (GASSEN, 1996; WAQUIL et al., 2003; AL-ERYAN; EL-TABBAKH, 2004, PINTO et al., 2004). As infestações que ocorrem nos estádios vegetativos ou até o pendoamento são as que resultam em maiores prejuízos. Quanto mais cedo a infestação ocorrer maior será o dano e, dependendo do tamanho da colônia de pulgões no pendoamento, a redução na produção pode chegar a até 65% (AL-ERYAN; EL-TABBAKH, 2004; VIANA, 2004).

3.3.2 Danos

A redução na produtividade das plantas é uma resposta fisiológica que está associada com a interação dos efeitos dos pulgões e os seguintes fatores: a) estresse hídrico; b) depauperamento e definhamento geral da planta, provocados pelas altas populações desse inseto, deixando as folhas cloróticas, encarquilhadas, enroladas e recobertas por “honeydew”, uma substância açucarada, excretada pelos pulgões, onde se desenvolve um fungo preto (fumagina), que cobre as folhas, interceptando a radiação solar e prejudicando a atividade fotossintética da planta e outros processos fisiológicos; c) possível ação tóxica da saliva do pulgão; d) Compactação dos grãos de pólen e cobertura dos estilo-estigmas pela excreção do excesso da seiva ingerida (solução açucarada), causando falhas na polinização e, conseqüentemente, deficiências na granação das espigas. Os sintomas observados com mais frequência são morte de plantas, perfilhamento de espigas, espigas atrofiadas e espigas com granação deficiente (ALMEIDA et al., 2001; PINTO et al., 2004).

O pulgão também é vetor do “potyvirus”, agente causal do mosaico comum do milho (MMSV), que pode provocar grandes prejuízos à cultura. Ao se alimentar de uma planta contaminada, o pulgão adquire o vírus em poucos segundos ou minutos, e rapidamente o transmite, ao se alimentar de plantas sadias (PINTO et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2003; WAQUIL et al., 1996).

Os sintomas dessa virose se apresentam, normalmente, em padrão de mosaico, caracterizando-se pela presença, nas folhas, de manchas verdes entremeadas por manchas amareladas, que podem ser observadas na lâmina e bainha de todas as folhas e na palha das espigas que se desenvolvem após a infecção, sendo que algumas vezes as plantas podem se apresentar levemente enfezadas. Esses sintomas são claramente visíveis em plantas jovens e tendem a desaparecer à medida que elas se tornam adultas. Os efeitos da doença sobre as plantas de milho são maiores quanto mais cedo se estabelece a infecção, sendo que estimativas experimentais estabelecem uma redução na ordem de 50% da produção em genótipos suscetíveis (FERNANDES et al., 1995; OLIVEIRA et al., 2003).

Nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás há uma tendência de maior incidência do mosaico comum nos plantios de novembro, dezembro e janeiro,

coincidindo com precipitações pluviométricas e temperaturas mais elevadas do verão, condições favoráveis ao desenvolvimento dos afídeos vetores (ALMEIDA et al., 2001).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 RESISTÊNCIA CONSTITUTIVA DE HÍBRIDOS AO PULGÃO DO MILHO (*R. maidis*).

A fim de selecionar híbridos comerciais com diferentes níveis de resistência a *R. maidis*, foram instalados três experimentos em campo, em diferentes locais, com infestação natural do inseto, e um experimento em casa de vegetação, com infestação manual da praga.

4.1.1 Infestação natural de *R. maidis* no campo

O experimento foi realizado a fim de selecionar entre 22 híbridos de milho aqueles que apresentavam maiores (suscetíveis) e menores (resistentes) infestações naturais de *R. maidis*. Nesse experimento, por se tratar de infestação natural, os mecanismos de resistência do tipo antibiose e não-preferência atuaram simultaneamente, não sendo possível isolar esses mecanismos. Os ensaios foram instalados em meio a lavouras comerciais de milho na safra verão 2012/13, nos municípios de Araguari/MG, Tupaciguara/MG e Patos de Minas/MG (TABELA 1).

Foi realizada semeadura manual, com duas sementes por cova, sendo desbastados 15 dias após, para se obter 65.000 pl ha⁻¹. A adubação foi calculada de acordo com a análise de solo e recomendação de Ribeiro et al. (1999). Cada parcela foi constituída por 4 linhas de 5 metros, espaçadas em 50 cm, totalizando 10 metros quadrados. Os híbridos estudados foram: AG7088PRO2, AG7098PRO, AG8676PRO, AG8677, AS1555PRO, AS1625PRO, AS1633PRO, BJ9450NYK1, BM8850, BM8940, BM9288, BM9337, DAS2B587HX, DKB175PRO, DKB310PRO, DKB340PRO, DKB390PRO2, P30F35H, P30F53H, P3646H, P3862H e STATUS VIP. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com 3 repetições.

TABELA 1. Nome do agricultor, município, altitude, data de plantio e data do levantamento da infestação de pulgões em milho no estado de Minas Gerais, na safra verão 2012/13.

Agricultor	Município	Altitude (m)	Data Plantio	Avaliação Inf. Pulgão
Luiz M. Piassa	Araguari – MG	940	02/11/2013	20/12/2013
Luiz C. Yamaguti	Tupaciguara – MG	915	29/10/2013	19/12/2013
Faz. Boa Esperança	Patos de Minas – MG	850	06/11/2013	21/12/2013

No momento em que a cultura atingiu a fase de florescimento, foi realizada a contagem do número de plantas com pulgões da espécie *R. maidis*, nas duas linhas centrais de cada parcela, a fim de se determinar o percentual de infestação. Esse procedimento foi realizado pela avaliação visual das duas ou três folhas mais externas do cartucho das plantas, identificando as que apresentavam colônias estabelecidas do inseto.

Os dados foram submetidos à análise de variância individual e conjunta dos locais. Na análise de variância conjunta foram considerados os efeitos dos genótipos como fixos e dos ambientes como aleatórios. A análise de variância conjunta foi realizada com base na relação entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo (QMR) (BANZATTO; KRONKA, 2006). As comparações de médias foram realizadas pelo teste de Scott-Knott, utilizando-se o programa Genes (CRUZ, 2006). Os híbridos foram classificados em consistentes, quando se mantiveram entre os germoplasmas com mais altos (suscetíveis) ou mais baixos (resistentes) níveis populacionais de pulgões nos três locais testados, ou inconsistentes, quando houve diferença no grau de resistência do híbrido quando comparados os locais. Uma vez constatada a presença de interação genótipo x ambiente (GxA), procedeu-se a análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica. Existem vários métodos para essa avaliação, que são complementares à análise de variância individual e conjunta dos dados experimentais resultantes de ensaios realizados em uma série de ambientes, que devem ser empregados quando ocorre interação GxA (CRUZ, 2006). O método da ecovalência (WRICKE, 1965) particiona a soma de quadrados da interação híbridos x ambientes em partes devidas aos híbridos isolados. Assim, o mesmo permite avaliar a estabilidade através da

contribuição de cada germoplasma para a interação. É uma medida apropriada para expressar a imprevisibilidade do material genético avaliado, sendo que os mais estáveis são aqueles que proporcionam menor estimativa da ecovalência (RESENDE et al., 2001; FRANCESCHI et al., 2010). Nesse método, o parâmetro utilizado como medida de estabilidade é denominado ecovalência, calculado pela expressão: $W_i = \sum_i \sum_j [Y_{ij} - (Y_i/L) - (Y_j/G) + (Y_{..}/GL)]$, onde: W_i = contribuição do genótipo i no total da interação; Y_{ij} = média do genótipo i no local j ; Y_i = total do genótipo i em todos os locais; Y_j = total do local j considerando todos os genótipos; $Y_{..} = \sum_i \sum_j ij$ - somatório geral; G = número de genótipos avaliados; L = número de locais experimentados.

Uma vez obtidos os dados do campo, os híbridos considerados instáveis pela ecovalência foram descartados para os demais experimentos. Assim, um híbrido com alta infestação da praga e três híbridos com baixa infestação nos três locais testados e que apresentaram estabilidade pelo teste de ecovalência foram selecionados para avaliar o crescimento populacional do pulgão e para verificar o acúmulo de silício na parte aérea das plantas, ambos os experimentos em casa de vegetação. Para o maior entendimento do grau de resistência dos híbridos que apresentaram níveis populacionais diferentes (inconsistentes) quando comparados os locais testados ou que foram considerados com estabilidade intermediária pela ecovalência, também foram testados nos experimentos em casa de vegetação

4.1.2 Crescimento populacional de *R. maidis* em casa de vegetação

Nesse experimento plantas de milho foram infestadas manualmente com *R. maidis* e o crescimento populacional do pulgão foi avaliado, objetivando avaliar o mecanismo de resistência por antibiose. Desta forma, a diferença no crescimento populacional do pulgão nos híbridos de milho foi, provavelmente, determinada pela influência de características da planta na biologia do inseto.

4.1.2.1 Criação de manutenção de *R. maidis*

Os pulgões utilizados no experimento foram coletados em lavouras comerciais de milho, nos municípios de Uberlândia (MG), Uberaba (MG) e Indianópolis (MG), na

safrinha 2016 e mantidos em um telado com dimensões de 60 metros x 60 metros, com laterais e teto cobertos com tela antiafídica e irrigação por gotejamento, na Estação Experimental de propriedade da Monsanto do Brasil, em Uberlândia/MG.

O telado foi instalado em um latossolo vermelho-amarelo, com pH (H₂O) 6,2; 2,4 mg dm⁻³ de P (mehlich 1); 82 mg dm⁻³ de K; 1,6 cmolc dm⁻³ de Ca²⁺; 0,8 cmolc dm⁻³ de Mg²⁺; 0,0 cmolc dm⁻³ de Al³⁺; 2,1 cmolc dm⁻³ de H + Al; saturação de base 55%. O teor de Si no solo foi de 3,95 mg Kg⁻¹, apresentando, portanto, bom potencial de resposta à adubação com esse elemento, de acordo com Korndörfer et al. (1999).

No interior do telado, plantas de milho de uma linhagem experimental com baixa resistência constitutiva a *R. maidis* foram semeadas em parcelas de 4 linhas x 5 metros de comprimento e espaçamento de 0,76 m, com 3,5 plantas m⁻¹. Cada parcela foi semeada em intervalos de 15 dias, a partir de 28 de abril de 2016 até dezembro do mesmo ano. Esse escalonamento de plantio permitiu que fossem mantidas constantemente plantas em estágio de desenvolvimento vegetativo e pré-florescimento com colônias de pulgões da espécie estudada, durante todo o período de realização dos experimentos.

4.1.2.2 Condução do experimento em casa de vegetação

O experimento foi instalado em vasos de 29 cm de diâmetro e 29 cm de altura com 13 kg de solo, no dia 30 de junho de 2016, na Casa de Vegetação da Estação Experimental da Monsanto, em Uberlândia (MG). No dia da semeadura, foi realizada uma adubação com NPK na formulação 10-30-10, com cinco gramas por vaso, de acordo com análise de solo, incorporado em um sulco a seis centímetros de profundidade. Em seguida, realizou-se a semeadura com quatro sementes de milho do mesmo híbrido por vaso, a uma distância de três centímetros do sulco de adubação e três centímetros de profundidade.

Os tratamentos constituíram-se de nove híbridos de milho, os quais foram selecionados a partir do experimento em campo, de acordo com o nível de susceptibilidade e resistência a *R. maidis*, considerando a consistência do grau de resistência nos três locais testados e a estabilidade no teste de ecovalência: AG7088PRO3, AG7098PRO2, AG8677PRO2, AS1633PRO2, DKB310PRO2, DKB390PRO2, P30F35YH, P30F53YH e STATUS VIP3. A versão transgênica de

alguns híbridos foi diferente da utilizada no experimento de campo, em função da substituição da versão comercial disponível no mercado: os três híbridos com versão PRO (AG7098PRO, AS1633PRO e DKB310PRO), que apresenta resistência a alguns lepidópteros, foram substituídos pela versão PRO2 (com incorporação do gene que confere tolerância ao herbicida glifosato); os dois híbridos com versão H (P30F35H e P30F53H), também com resistência a alguns lepidópteros, foram substituídos pela versão YH (com incorporação de um segundo gene de resistência a lepidópteros); o híbrido STATUS VIP (resistência a alguns lepidópteros) pela versão VIP3 (com incorporação de um segundo gene de resistência a lepidópteros e tolerância ao herbicida glifosato); o híbrido AG7088PRO2, pela versão PRO3 (com incorporação do gene que confere resistência a larvas de coleópteros nas raízes) e o híbrido AG8677 pela versão PRO2. O híbrido DKB390PRO2 foi mantido na mesma versão. Embora não seja possível afirmar que a incorporação de genes de resistência a lagartas ou tolerância ao glifosato não interfiram na resistência a *R. maidis*, essa interferência é pouco provável e a indisponibilidade do híbrido no mercado foi determinante para a substituição das versões transgênicas dos germoplasmas.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Aos 20 dias após a semeadura, foi efetuado o desbaste de plantas, mantendo-se duas plantas por vaso, e adubação nitrogenada, utilizando-se uréia na dosagem de três gramas por vaso.

Para a realização das infestações manuais dos pulgões, iniciou-se um procedimento aos 46 dias após a semeadura (DAS) do experimento. Para tanto, foram coletados 252 insetos adultos da criação de manutenção. Esses foram acondicionados em 36 placas de petri de cinco cm de diâmetro, na proporção de sete adultos por placa. Em cada uma, foi acondicionada uma secção foliar de milho de três centímetros de comprimento. A fim de manter o turgor das folhas, as mesmas foram acondicionadas sobre uma solução de agar/água a 1% e cobertas com um tecido do tipo organza.

Esse conjunto de placas foi mantido em câmara climatizada à temperatura de 25° C e fotofase de 14 horas. Dois dias após, os adultos foram retirados e acondicionados em 36 novas placas de petri, semelhantes às anteriores e as ninfas mantidas nas 36 primeiras. Passados mais dois dias, ou seja, 50 DAS, as ninfas das 72 placas de petri foram infestadas nas folhas do cartucho de todas as plantas do ensaio, na proporção de

12 ninfas com idade de três a quatro dias e oito com idade de um a dois dias, totalizando 20 ninfas por planta.

Uma segunda infestação de pulgões foi realizada, com uma nova coleta de 252 adultos da criação de manutenção aos 54 DAS. Os procedimentos anteriores foram repetidos e, aos 58 DAS, a nova infestação foi realizada nas plantas do experimento, na proporção de 10 ninfas com idade de quatro dias e cinco com dois dias em cada planta do experimento (total de 15 ninfas por planta). Cada planta foi infestada com 35 ninfas de *R. maidis*, somando-se às duas infestações.

Aos 69 DAS (19 e 11 dias após a primeira e a segunda infestação de *R. maidis*, respectivamente), quando as plantas de milho se encontravam no estágio de desenvolvimento vegetativo com 15 a 16 folhas totalmente expandidas, uma das plantas de cada vaso foi cortada para a contagem do número total de pulgões por planta. Aos 76 DAS (26 e 18 dias após a primeira e a segunda infestação de *R. maidis*, respectivamente), quando as plantas remanescentes se encontravam no estágio de pré-florescimento, elas foram cortadas para a segunda contagem do número total de pulgões por planta.

A normalidade dos resíduos foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, e a homogeneidade das variâncias, por meio do teste de Levene, no *software* SPSS 20.0, após a transformação dos dados para logaritmo de X, a cinco por cento de probabilidade. Em seguida, foi realizada a Análise de Variância (ANAVA) e as médias do número de pulgões por planta nos híbridos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, e as médias do número de pulgões por planta nas duas datas de avaliação pelo teste F, ambos a 5% de probabilidade.

4.2 TEOR DE SILÍCIO EM HÍBRIDOS DE MILHO

O experimento foi instalado com o objetivo de determinar o teor de silício absorvido em diferentes híbridos comerciais de milho. Para tanto, foi realizada a coleta de um neossolo quartzarênico órtico típico, na Fazenda do Glória, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), no município de Uberlândia (MG). De acordo com a análise, o solo apresentou 81% de areia, 5% de silte, 14% de argila e 1,2 mg kg⁻¹ de silício, sendo escolhido em virtude da pequena quantidade de silício disponível às plantas.

Após a coleta, o solo foi peneirado e secado à sombra. Depois de seco, foi colocado em vasos de 29 cm de diâmetro e 29 cm de altura com 13 kg do elemento e deixado para incubar por 68 dias. No processo de incubação foi colocado Agrossilício® Agroneli (25% de cálcio, 6% de magnésio e 10,5% de silício total) na dose de 600 kg de silício ha⁻¹ em metade dos vasos. Na outra metade dos vasos, foi adicionada a mesma quantidade de calcário dolomítico para equilibrar os teores de cálcio e magnésio.

4.2.1 Condução do Experimento

O experimento foi instalado no dia 13 de maio de 2016, na Casa de Vegetação da Estação Experimental da Monsanto, em Uberlândia (MG), após finalizado o período de incubação do solo. No dia da sementeira foi realizada uma adubação com NPK na formulação 10-30-10, com cinco gramas por vaso de acordo com análise de solo, incorporado a seis centímetros de profundidade, e em seguida realizada a sementeira com quatro sementes de milho por vaso, a uma distância de três centímetros do sulco de adubação e três centímetros de profundidade. Aos 20 dias após a sementeira (DAS), realizou-se um desbaste de plantas, mantendo-se duas plantas por vaso, as quais formaram a parcela experimental.

Foi realizado o corte das plantas aos 62 DAS, quando elas se encontravam em estágio vegetativo com 12-14 folhas totalmente expandidas. As plantas foram cortadas a cinco centímetros do solo e acondicionadas em sacos de papel, identificados e colocados para secar em estufa com circulação e renovação forçada de ar, a 65° C, até peso constante. Após esse período, foram pesadas para determinação da biomassa seca. Em seguida, as amostras foram moídas e enviadas ao Laboratório de Análise de Fertilizantes (LAFER) da Universidade Federal de Uberlândia, onde foi feita a análise para quantificação do teor de silício nas plantas, utilizando a técnica de Korndörfer et al. (2004).

Os tratamentos constituíram-se de nove híbridos de milho: AG7088PRO3, AG7098PRO2, AG8677, AS1633PRO2, DKB310PRO2, DKB390PRO2, P30F35YH, P30F53YH e STATUS VIP3. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. A normalidade dos resíduos foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, e a homogeneidade das variâncias, através do teste de Levene,

no *software* SPSS 20.0, após transformação dos dados para arco seno da raiz de X, a cinco por cento de probabilidade. Em seguida, foi realizada a Análise de Variância (ANAVA) e as médias dos híbridos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, e as médias com e sem adubação silicatada pelo teste F, ambos a 5% de probabilidade.

4.3 RESISTÊNCIA INDUZIDA POR SILÍCIO EM HÍBRIDOS COM DIFERENTES GRAUS DE RESISTÊNCIA CONSTITUTIVA AO PULGÃO DO MILHO (*R. maidis*)

Uma vez determinada a capacidade de acúmulo de silício por diferentes germoplasmas de milho e conhecida a sua susceptibilidade ao pulgão do milho (*R. maidis*), instalou-se um experimento a fim de se verificar a indução de resistência por silício em híbridos de milho com diferentes níveis de resistência constitutiva ao inseto.

4.3.1 Condução do Experimento

Para garantir a infestação natural de alados de *R. maidis*, o experimento foi instalado no mesmo telado da criação de manutenção de pulgões (item 4.1.2.1), porém em extremidade oposta e com 36 metros de distância (Figura 1). O ensaio foi semeado diretamente no solo, no dia 22 de outubro de 2016, em uma área correspondente a 270 m² (9 m x 30 m). As parcelas (3 m x 5 m) foram representadas pela adubação silicatada (Agrosilício®), na dosagem de 600 kg ha⁻¹ de Si, ou Calcário dolomítico (representando a testemunha sem silício), na mesma dosagem, para equilibrar os teores de cálcio e magnésio. A aplicação do silício e do calcário foi realizada 97 dias antes do plantio do milho, em 15 de julho de 2016, com a aplicação dos corretivos sobre o solo e posterior incorporação a 20 cm em parcelas de 3 m x 5 m. As subparcelas (compostas de 2 linhas de 3 m x 0,5 m) foram os híbridos DKB310PRO2 (susceptível) e P30F53YH (resistente ao pulgão do milho). Estas foram centralizadas em cada parcela, com 10 plantas por linha (Figura 2). A primeira linha foi usada para a avaliação da infestação de pulgões e a outra para determinação da produtividade.

Para a realização das infestações manuais dos pulgões, aos 39 DAS do experimento foram coletados 360 insetos adultos da criação de manutenção, os quais foram acondicionados em 36 placas de petri (cinco centímetros de diâmetro), na

proporção de 10 adultos por placa, seguindo os mesmos procedimentos do experimento anterior. Dois dias após, os adultos foram retirados das placas e as ninfas mantidas até atingirem quatro dias de idade, quando foram utilizados para infestar as plantas. Esse procedimento foi repetido por três vezes e foram infestadas duas plantas da primeira linha de cada subparcela aos 43, 45 e 47 DAS, com cinco insetos por planta, sempre nas mesmas plantas, totalizando, assim, 15 insetos por planta.

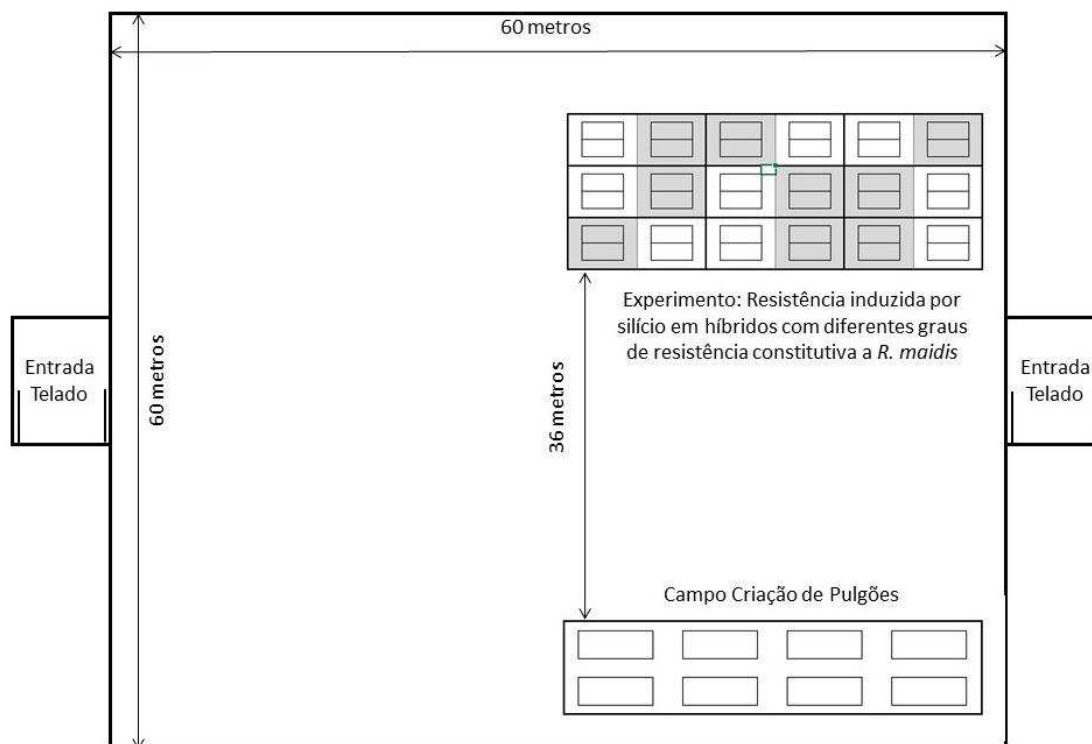


FIGURA 1. Croqui do telado, demonstrando a localização do campo de criação de pulgões e o experimento de resistência induzida por silício em híbridos com diferentes graus de resistência constitutiva a *R. maidis*.

Aos sete dias após a última infestação, ou seja, 54 DAS, quando as plantas se encontravam em estágio vegetativo avançado (com apenas 2 a 3 folhas no cartucho), o cartucho das duas plantas por subparcela que receberam infestação manual de pulgões foram cortados para a contagem do número total de insetos por planta. Assim como foram cortados os cartuchos de quatro plantas da primeira linha de cada subparcela para a verificação do número de pulgões por planta em infestação natural *R. maidis*, duas plantas por sub-parcela aos 54 DAS (com apenas 2 a 3 folhas no cartucho) e duas plantas aos 61 DAS (1 folha no cartucho). As plantas com pulgões foram acondicionadas em sacos de papel, mantidas no freezer para posterior contagem dos insetos.

Simultaneamente à coleta das plantas (aos 54 DAS e 61 DAS), foram realizadas as contagens de todas as plantas da subparcela que apresentavam colônias de pulgões visíveis na última folha totalmente expandida e na folha semiaberta do cartucho, para o cálculo do percentual de plantas infestadas naturalmente com pulgões.

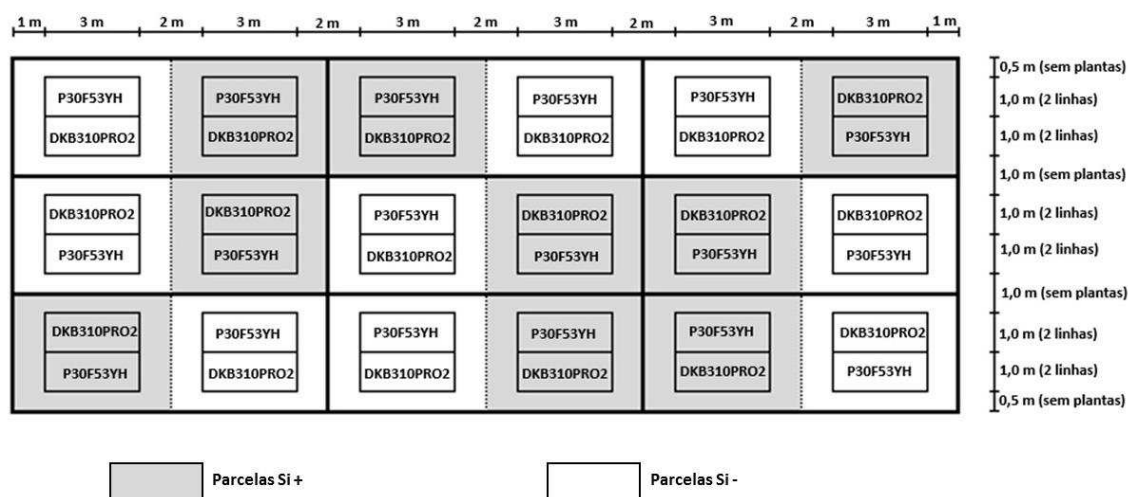


FIGURA 2. Croqui do experimento de resistência induzida por silício em híbridos com diferentes graus de resistência constitutiva a *R. maidis*.

Na fase de florescimento da cultura (72 DAS), foi coletada a folha logo abaixo da espiga de cinco plantas da primeira linha das parcelas, das quais foram retiradas a bainha e a nervura central. As mesmas foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas e colocadas para secar em estufa a 65° C, até atingirem peso constante. Em seguida foram moídas e encaminhadas ao Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes (LAFER), da UFU, para determinação do teor de Si das folhas.

As plantas da segunda linha das subparcelas foram mantidas até o final do ciclo da cultura, aos 151 DAS, quando foram medidos a altura de planta e de inserção da espiga, a população final, o quebramento e o acamamento de plantas. Nessa ocasião, também foram calculados a produtividade de grãos, o número de grãos por espiga e o peso de 1000 grãos.

Para tanto, todas as espigas das plantas foram coletadas, debulhadas, pesadas e tiveram a umidade dos grãos determinada. Antes da debulha, para o cálculo no número de grãos por espiga, foram contados os grãos de quatro unidades por subparcela. Após o processo da debulha, coletou-se uma subamostra de 250 gramas para o cálculo do peso

de 1000 grãos. Para a altura de plantas e inserção das espigas, utilizou-se uma régua para a medição de cinco plantas em cada subparcela. Para a população final, acamamento e quebramento, todas as plantas da segunda linha da unidade experimental foram contadas, sendo consideradas quebradas as plantas com o colmo quebrado abaixo da espiga; e acamadas as plantas que tombaram na altura do solo, devido à falta de sustentação pelo sistema radicular.

O experimento foi conduzido em blocos casualizados, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro tratamentos e nove repetições. As parcelas foram representadas pela presença ou ausência da adubação silicatada e as subparcelas foram compostas pelos dois híbridos (DKB310PRO2 e P30F53YH). A normalidade dos resíduos foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene, no *software* SPSS 20.0. Os dados de produtividade de grãos, o número de grãos por espiga, peso de 1000 grãos, altura de planta e inserção da espiga atenderam às pressuposições (normalidade de resíduos e homogeneidade das variâncias). Já os dados de número de pulgões por planta foram transformados para logaritmo de X, os dados do percentual de plantas com pulgão foram transformados para arco seno da raiz quadrada de X/100, a população final de plantas foi transformada para log (x) e o acamamento e o quebramento de plantas foram transformados para log (x+1) para que atendessem às pressuposições (normalidade de resíduos e homogeneidade das variâncias) e fossem analisados. Foi realizada a Análise de Variância (ANAVA) e as médias foram comparadas pelo teste de F, a 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS

5.1 RESISTÊNCIA CONSTITUTIVA DE HÍBRIDOS DE MILHO AO PULGÃO DO MILHO (*R. maidis*)

5.1.1 Infestação natural de *R. maidis* no campo

Em cada um dos experimentos instalados em lavouras comerciais de milho, na safra 2012/13, foram observadas diferenças no percentual médio de plantas infestadas por *R. maidis* entre os híbridos (TABELA 2). Para que os experimentos fossem reunidos, testou-se a homogeneidade das variâncias dos erros experimentais, que se mostraram homocedásticos, tendo em vista que a razão entre o maior e o menor quadrado médio residual foi de 2,54 (TABELA 2). Segundo Banzatto e Kronka (2006), quando se dispõe de grupo de experimentos similares, em que os tratamentos tenham o mesmo número de repetições, a análise conjunta poderá ser feita se o quociente entre o maior e o menor quadrado médio residual for menor ou igual a sete. Na análise conjunta dos dados, foi observada uma interação entre os genótipos e ambientes (TABELA 3).

TABELA 2. Resumo das análises de variância para os dados do percentual médio de plantas infestadas por *R. maidis*, de 22 híbridos de milho cultivados nos municípios de Patos de Minas - MG (1), Tupaciguara - MG (2) e Araguari - MG (3), na safra 2012/13.

Ambiente	QM ¹ (Bloco)	QM (Trat)	QM (Res)	F	P
1	210,60606	757,86436	264,57431	2,8645	0,0018
2	13,63636	378,35498	104,11255	3,6341	0,0002
3	4,54545	488,60029	144,22799	3,3877	0,0004
GL	2	21	42		
Relação: Maior QM (Res) / Menor QM (Res) = 2,54					

¹ QM = Quadrado médio.

Os híbridos BM8850, AS1625PRO e DKB310PRO foram os que apresentaram maior percentual de ocorrência de *R. maidis* nos três ambientes testados; e foram considerados susceptíveis pelo teste de campo. Ao passo que P30F53H, STATUS VIP,

BM9288, DAS2B587HX, DKB175PRO, AS1633PRO e DKB390PRO2 foram os que apresentaram as menores percentagens de plantas com pulgões, indicando uma maior resistência. Os demais 12 híbridos testados pertenceram ao grupo de maior ou de menor infestação natural de *R. maidis*, dependendo do local e, por isso, foram considerados inconsistentes quanto ao resultado de resistência nos três locais avaliados (TABELA 4).

TABELA 3. Resumo da Análise de Variância da análise conjunta dos dados de percentual médio de plantas infestadas por *R. maidis*, de 22 híbridos de milho cultivados nos municípios de Patos de Minas-MG, Tupaciguara-MG e Araguari-MG, na safra 2012/13.

FV	Teste	GL _{num}	GL _{den}	F	Prob (%)
Tratamento	QMG/QMGA ¹	21	42	2,1409	1,77283 *
Ambiente	QMA/QMB	2	6	1,9132	22,76837
Trat x Amb	QMGA/QMR	42	126	2,3238	0,01678 **

¹ QMG = Quadrado médio Genótipo; QMGA = Quadrado médio Genótipo x Ambiente; QMA = Quadrado médio Ambiente; QMB = Quadrado médio Blocos; QMR = Quadrado médio Resíduo.

Verificou-se que AS1555PRO (inconsistente quanto à resistência nos três locais), P3862H (inconsistente), AG8676PRO (inconsistente) e AS1625PRO (susceptível) contribuíram com 51,30% para a soma de quadrados de interação, sendo considerados os mais instáveis pelo teste de ecovalência; DKB175PRO (resistente), AG8677 (inconsistente), DKB340PRO (inconsistente), AG7098PRO (inconsistente), BM8940 (inconsistente), AS1633PRO (resistente), BJ9450NYK1 (inconsistente) contribuíram com 32,26%, sendo considerados intermediários; já BM9288 (resistente), DAS2B587HX (resistente), BM8850 (susceptível), AG7088PRO2 (inconsistente), P30F53H (resistente), BM9337(inconsistente), P30F35H (inconsistente), DKB310PRO (susceptível), STATUS VIP (resistente), DKB390PRO2 (resistente) e P3646H (inconsistente), com 16,44% foram os genótipos considerados mais estáveis para a avaliação do percentual de plantas infestadas (TABELA 5).

TABELA 4. Percentual médio e erro padrão da média de plantas infestadas por *R. maidis*, em 22 híbridos de milho cultivados nos municípios de Patos de Minas-MG, Tupaciguara-MG e Araguari-MG, na safra 2012/13.

Híbrido	Patos de Minas				Tupaciguara				Araguari				Média
BM8850	80,0 ± 5,77	A ¹	b		83,3 ± 8,82	A	c		73,3 ± 8,82	A	b		78,9 ± 4,23
AG7098PRO	73,3 ± 14,53	A	b		63,3 ± 14,53	A	b		90,0 ± 5,77	A	b		75,6 ± 7,29
AS1625PRO	66,7 ± 12,02	A	b		86,7 ± 8,82	A	c		73,3 ± 3,33	A	b		75,6 ± 5,30
DKB310PRO	63,3 ± 8,82	A	b		80,0 ± 10,00	B	c		83,3 ± 6,67	B	b		75,6 ± 5,30
AG7088PRO2	53,3 ± 14,53	A	a		83,3 ± 8,82	B	c		83,3 ± 3,33	B	b		73,3 ± 7,07
AG8676PRO	80,0 ± 20,00	A	b		63,3 ± 8,82	A	b		73,3 ± 6,67	A	b		72,2 ± 7,03
P30F35H	53,3 ± 6,67	A	a		83,3 ± 12,02	B	c		80,0 ± 10,00	B	b		72,2 ± 6,83
AS1555PRO	86,7 ± 3,33	B	b		46,7 ± 12,02	A	b		76,7 ± 3,33	B	b		70,0 ± 7,07
P3646H	46,7 ± 13,33	A	a		83,3 ± 3,33	B	c		66,7 ± 12,02	B	b		65,6 ± 7,47
BM8940	46,7 ± 13,33	A	a		86,7 ± 3,33	B	c		60,0 ± 5,77	A	a		64,4 ± 7,29
BJ9450NYK1	60,0 ± 10,00	A	a		80,0 ± 0,00	A	c		50,0 ± 20,82	A	a		63,3 ± 7,99
DKB340PRO	50,0 ± 10,00	A	a		86,7 ± 6,67	B	c		43,3 ± 3,33	A	a		60,0 ± 6,01
BM9337	53,3 ± 6,67	A	a		53,3 ± 6,67	A	b		73,3 ± 14,53	A	b		60,0 ± 7,64
DKB390PRO2	60,0 ± 15,28	A	a		63,3 ± 18,56	A	b		50,0 ± 0,00	A	a		57,8 ± 7,22
AS1633PRO	46,7 ± 12,02	A	a		56,7 ± 8,82	A	b		60,0 ± 11,55	A	a		54,4 ± 5,80
DKB175PRO	40,0 ± 20,00	A	a		60,0 ± 5,77	A	b		56,7 ± 6,67	A	a		52,2 ± 7,03
AG8677	40,0 ± 15,28	A	a		46,7 ± 8,82	A	b		66,7 ± 14,53	A	b		51,1 ± 7,72
P3862H	70,0 ± 10,00	B	b		36,7 ± 3,33	A	b		43,3 ± 3,33	A	a		50,0 ± 6,01
DAS2B587HX	46,7 ± 3,33	A	a		56,7 ± 8,82	A	b		40,0 ± 5,77	A	a		47,8 ± 4,01
BM9288	50,0 ± 15,28	A	a		43,3 ± 3,33	A	b		43,3 ± 3,33	A	a		45,6 ± 4,75
STATUS VIP	30,0 ± 0,00	A	a		46,7 ± 3,33	A	b		50,0 ± 0,00	A	a		42,2 ± 3,24
P30F53H	53,3 ± 12,02	B	a		10,0 ± 5,77	A	a		20,0 ± 5,77	A	a		27,8 ± 7,78
Média	56,8 ± 0,82				63,6 ± 0,15				61,7 ± 0,42				

¹ médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste de Scott e Knott a 0,05 de significância.

TABELA 5. Avaliação da estabilidade, segundo o método da Ecovalência (W_i e $W_i - \%$) para o percentual de plantas infestadas por *R. maidis*, em 22 híbridos de milho cultivados nos municípios de Patos de Minas-MG, Tupaciguara-MG e Araguari-MG, na safra verão 2012/13.

Híbrido	W_i^1	$W_i - \%$
P3646H	0,60	0,01
DKB390PRO2	29,89	0,36
STATUS VIP	29,89	0,36
DKB310PRO	64,23	0,76
P30F35H	136,96	1,63
BM9337	138,98	1,65
P30F53H	157,16	1,87
AG7088PRO2	179,38	2,13
BM8850	206,66	2,46
DAS2B587HX	215,75	2,57
BM9288	221,81	2,64
BJ9450NYK1	266,25	3,16
AS1633PRO	273,32	3,25
BM8940	290,50	3,45
AG7098PRO	411,71	4,89
DKB340PRO	433,93	5,16
AG8677	454,13	5,40
DKB175PRO	584,44	6,95
AS1625PRO	788,48	9,38
AG8676PRO	906,66	10,78
P3862H	936,96	11,14
AS1555PRO	1681,40	20,00

¹ W_i : Ecovalência;

$W_i - \%$: Contribuição (%) do genótipo na ecovalência.

5.1.2 Crescimento populacional de *R. maidis* em casa de vegetação

Foi observada interação entre os fatores híbrido e período de avaliação para o crescimento populacional de *R. maidis* em casa de vegetação ($F_{8,71} = 2,361$; $p \geq 0,05$). O híbrido P30F53YH (resistente e estável no experimento de campo) apresentou o menor

número de insetos por planta aos 69 dias após a semeadura (DAS) ($F_{8,71} = 9,585$; $p \geq 0,05$) e aos 76 DAS ($F_{8,71} = 13,789$; $p \geq 0,05$), demonstrando ser o material com maior resistência constitutiva por antibiose a essa praga. Nesse híbrido, a população de pulgões baixou para menos da metade da população inicialmente infestada na planta aos 69 DAS e foi reduzida em mais de oito vezes aos 76 DAS. Por outro lado, os híbridos DKB310PRO2 (susceptível e estável) e AG7088PRO3 (inconsistente e estável) se mostraram os mais susceptíveis, apresentando as maiores populações dessa praga nos dois momentos de avaliação. O aumento populacional de *R. maidis* foi da ordem de 17 e 16 vezes em DKB310PRO2 e de 14 e 11 vezes em AG7088PRO3 aos 69 DAS e 76 DAS, respectivamente. Os híbridos STATUS VIP (resistente e estável), AG7098PRO2 (inconsistente e intermediário) e AS1633PRO2 (resistente e intermediário) se mostraram, inicialmente, susceptíveis a esse afídeo, porém, aos 76 DAS, a população de pulgões nas plantas reduziu para níveis semelhantes aos encontrados nos híbridos P30F35YH (inconsistente e estável) e DKB390PRO2 (resistente e estável), que apresentaram resistência intermediária, assim como o AG8677PRO2 (inconsistente e intermediário), o qual foi susceptível na primeira avaliação e na segunda se mostrou com resistência intermediária (TABELA 6).

Com relação às épocas de avaliação, notou-se que houve redução no número de insetos aos 76 DAS nos híbridos P30F35YH ($F_{1,71} = 4,523$; $p \geq 0,05$), AG8677PRO2 ($F_{1,71} = 16,999$; $p \geq 0,05$) e AS1633PRO2 ($F_{1,71} = 5,611$; $p \geq 0,05$). Para os demais híbridos, esse número foi constante nos dois momentos (TABELA 6).

Três híbridos com ecovalência estável no teste de campo apresentaram resultados de crescimento populacional semelhantes quando comparados as duas avaliações, aos 69 e 76 DAS (um resistente – P30F35YH; e dois suscetíveis – AG7088PRO3 e DKB310PRO2). Os demais germoplasmas estáveis (STATUS VIP, DKB390PRO2 e P30F35YH) e os três com ecovalência intermediária (AS1633PRO2, AG8677PRO2 e AG7098PRO2) apresentaram crescimento populacional conflitante entre as avaliações. De forma análoga, três (AG7098PRO2, AG8677PRO2 e P30F35YH) dos quatro híbridos com grau de resistência diferente entre os três locais (inconsistentes) apresentaram crescimento populacional intermediário ou resultados diferentes nesse crescimento entre as duas avaliações. Dos quatro híbridos resistentes nos três locais avaliados no campo, apenas um (P30F35YH) manteve-se entre os mais resistentes nas duas avaliações do crescimento populacional do pulgão. O híbrido

suscetível (DKB310PRO2) nos três locais apresentou o maior crescimento populacional de *R. maidis* nas duas avaliações. Dessa forma, os híbridos P30F53YH e DKB310PRO2 foram considerados resistentes e suscetíveis, respectivamente, em todos os testes realizados, sendo, portanto, selecionados como padrões de resistência e suscetibilidade.

TABELA 6. Número médio de pulgões (*R. maidis*) por planta e erro padrão da média, em 9 híbridos de milho, aos 69 e 76 dias após a semeadura da cultura (DAS), em casa de vegetação. Uberlândia. 2016.

Híbrido	69 DAS				76 DAS				Média
P30F53YH	17,0 ±	3,08	a ¹	B	4,3 ±	0,75	a	A	10,6 ± 2,82
P30F35YH	133,8 ±	70,46	b	A	150,5 ±	53,07	c	A	142,1 ± 40,96
DKB390PRO2	167,3 ±	60,36	b	A	142,0 ±	19,76	c	A	154,6 ± 29,78
STATUS VIP	386,2 ±	166,72	c	A	79,3 ±	17,27	c	A	232,8 ± 96,88
AG8677PRO2	489,7 ±	151,40	c	B	38,5 ±	13,18	b	A	264,1 ± 110,55
AG7098PRO2	394,2 ±	43,39	c	A	194,3 ±	58,99	c	A	294,3 ± 50,77
AG7088PRO3	492,7 ±	187,89	c	A	403,2 ±	138,34	d	A	448,0 ± 109,33
DKB310PRO2	595,7 ±	215,15	c	A	563,8 ±	90,09	d	A	579,8 ± 108,14
AS1633PRO2	1120,0 ±	278,08	c	B	225,8 ±	44,60	c	A	672,9 ± 213,44

¹ médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna diferem pelo Teste Scott-Knott e maiúsculas na linha diferem pelo Teste F, ambos a 0,05 de significância.

5.2 ACÚMULO DE SILÍCIO EM HÍBRIDOS DE MILHO

Foi constatada interação entre os fatores híbrido e adubação silicatada no percentual de acúmulo de silício ($F_{8,71} = 2,590$; $p \geq 0,05$). Todos os germoplasmas foram responsivos à aplicação de silício no solo ($F_{8,71} = 270,993$; $p \geq 0,05$), apresentando maior acúmulo desse nutriente quando realizada a adubação (TABELA 7).

Os híbridos AG7098PRO2, AG8677PRO2, AS1633PRO2 e DKB390PRO2 foram mais eficientes no acúmulo de silício, apresentando maior capacidade de absorção do nutriente, tanto quando foi realizada ($F_{8,71} = 8,282$; $p \geq 0,05$) como quando não foi realizada a adubação silicatada ($F_{8,71} = 3,487$; $p \geq 0,05$). Por outro lado, o híbrido STATUS VIP foi o menos eficiente, pois apresentou o menor acúmulo de Si

quando realizada a adubação desse elemento e esteve entre os híbridos com menor teor de silício quando não houve adubação silicatada (TABELA 7).

TABELA 7. Teor de silício na planta e erro padrão da média de 9 híbridos de milho, instalados em solo com baixo nível natural de silício, com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2016.

Híbrido	Si + (%) ²		Si - (%)			Média	
AG7088PRO3	1,46 ± 0,203	a ¹	A	0,48 ± 0,025	b	B	0,97 ± 0,207
AG7098PRO2	1,72 ± 0,198	A	A	0,65 ± 0,045	a	B	1,18 ± 0,224
AG8677PRO2	1,82 ± 0,181	A	A	0,64 ± 0,010	a	B	1,23 ± 0,237
AS1633PRO2	1,97 ± 0,196	A	A	0,87 ± 0,035	a	B	1,42 ± 0,226
DKB310PRO2	1,36 ± 0,174	b	A	0,75 ± 0,061	a	B	1,06 ± 0,144
DKB390PRO2	1,73 ± 0,124	A	A	0,70 ± 0,073	a	B	1,21 ± 0,206
P30F35YH	1,11 ± 0,166	b	A	0,56 ± 0,054	b	B	0,83 ± 0,131
P30F53YH	1,22 ± 0,106	b	A	0,39 ± 0,045	b	B	0,80 ± 0,165
STATUS VIP	0,88 ± 0,143	c	A	0,45 ± 0,015	b	B	0,66 ± 0,105
Média	1,47 ± 0,076			0,61 ± 0,028			

¹ médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna diferem pelo Teste Scott-Knott e maiúsculas na linha diferem pelo Teste F, ambos a 0,05 de significância.

² Si + (%) = teor de silício na planta com adubação silicatada.

Si - (%) = teor de silício na planta sem adubação silicatada.

5.3 RESISTÊNCIA INDUZIDA POR SILÍCIO EM HÍBRIDOS COM DIFERENTES GRAUS DE RESISTÊNCIA CONSTITUTIVA AO PULGÃO DO MILHO (*R. maidis*)

5.3.1 Teor de silício foliar

Na análise do teor de silício nas folhas, não houve interação entre os fatores híbrido e adubação silicatada ($F_{1,35} = 0,462$; $p \geq 0,05$). Entretanto, verificou-se que os germoplasmas foram responsivos à aplicação de silício no solo ($F_{1,35} = 27,738$; $p \geq 0,05$), apresentando maior concentração desse nutriente nas folhas quando realizada a

adubação com o mesmo. Ademais, P30F53YH apresentou maior teor desse elemento nas folhas que DKB310PRO2 ($F_{1,35} = 10,366$; $p \geq 0,05$) (TABELA 8).

TABELA 8. Teor de silício na folha e erro padrão da média de dois híbridos de milho, plantados em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2017.

Híbrido	Si + (%) ²	Si - (%)	Média
P30F53YH	3,11 ± 0,201	2,64 ± 0,153	2,87 ± 0,135 a ¹
DKB310PRO2	2,65 ± 0,175	1,88 ± 0,084	2,26 ± 0,132 b
Média	2,88 ± 0,141 A	2,26 ± 0,125 B	

¹ médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem pelo Teste F, a 0,05 de significância.

² Si + (%) = teor de silício na folha com adubação silicatada.

Si - (%) = teor de silício na folha sem adubação silicatada.

5.3.2 Infestação manual de *R. maidis*

Nas plantas infestadas manualmente com *R. maidis* não houve interação entre os fatores híbrido e adubação silicatada ($F_{1,35} = 0,001$; $p \geq 0,05$). Observou-se aumento da população de *R. maidis* de oito a 12 vezes no híbrido suscetível (DKB310PRO2) e de quatro vezes no híbrido resistente (P30F53YH), confirmando os resultados de antibiose (item 5.1.2).

TABELA 9. Número médio de pulgões (*R. maidis*) por planta de milho e erro padrão da média aos 54 dias após a semeadura da cultura (DAS), com infestação manual da praga em 2 híbridos de milho, plantados em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2016.

Híbrido	Si + ²	Si -	Média
P30F53YH	65 ± 14,9	64 ± 14,6	64 ± 10,1 a ¹
DKB310PRO2	120 ± 31,7	181 ± 85,3	150 ± 44,8 b
Média	92 ± 18,3 A	122 ± 44,3 A	

¹ médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem pelo Teste F, a 0,05 de significância.

² Si+ = com adubação silicatada.

Si - = sem adubação silicatada.

Verificou-se que o híbrido DKB310PRO2 apresentou número maior de pulgões por planta que o P30F53YH ($F_{1,35} = 5,196$; $p \geq 0,05$) e que não houve influência da adubação silicatada sobre o número desses insetos nos cartuchos das plantas ($F_{1,35} = 0,003$; $p \geq 0,05$) (TABELA 9).

5.3.3 Infestação natural de *R. maidis*

Nas avaliações de infestação natural de *R. maidis*, para o percentual de plantas com pulgão não foi constatada interação dos fatores silício, híbrido e data de avaliação ($F_{1,71} = 0,012$; $p \geq 0,05$) (TABELA 10). O híbrido susceptível DKB310PRO2 apresentou maior percentual de plantas com *R. maidis* do que o híbrido resistente P30F53YH ($F_{1,71} = 32,264$; $p \geq 0,05$). Porém, não houve influência do silício e da época de avaliação sobre esse parâmetro (TABELA 11).

TABELA 10. Resumo do quadro de ANAVA para as variáveis % de plantas com pulgão (*R. maidis*) e média de pulgões (*R. maidis*) por planta de milho, aos 54 e 61 DAS da cultura, com infestação natural da praga em 2 híbridos de milho e solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2016

	% de Plantas c/ Pulgão		Número de Pulgões/ Planta	
	QM ¹	Valor P	QM	Valor P
Silício (A)	0,015724	0,8561	0,909743	0,0260
Híbrido (B)	15,451240	0,0000	4,991589	0,0000
Avaliação (C)	0,230521	0,2039	0,254482	0,2131
A x B	0,560035	0,2949	0,031807	0,5523
A x C	0,002713	0,8885	0,000076	0,9826
B x C	0,301606	0,1485	1,062469	0,0141
A x B x C	0,001606	0,9122	0,016937	0,7452

¹ QM: Quadrado médio

TABELA 11. Percentual médio de plantas infestadas com *R. maidis* e erro padrão da média, aos 54 e 61 dias após a semeadura (DAS), com infestação natural da praga, em 2 híbridos de milho, em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2016.

Percentual de Plantas com <i>R. maidis</i>			
	DKB310PRO2	P30F53YH	Média
Si +²	26,1 ± 5,26	4,5 ± 1,84	15,3 ± 3,30 a ¹
Si -	31,3 ± 6,42	3,5 ± 2,45	17,4 ± 4,12 a
Média	28,7 ± 4,11 B	4,0 ± 1,51 A	

	54 DAS	61 DAS	Média
Si +	17,7 ± 4,91	12,9 ± 4,47	15,3 ± 3,30 a
Si -	17,7 ± 5,39	17,1 ± 6,39	17,4 ± 4,12 a
Média	17,7 ± 3,59 A	15,0 ± 3,86 A	

¹ médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem pelo Teste F, a 0,05 de significância.

² Si+ = com adubação silicatada.

Si- = sem adubação silicatada.

Para o número de pulgões por planta em infestação natural, houve interação entre híbrido e época de avaliação ($F_{1,71} = 6,738$; $p \geq 0,05$) (TABELA 10). O híbrido DKB310PRO2 apresentou maior número de *R. maidis* por planta, em relação ao P30F53YH nas duas épocas de avaliação (54 DAS: $F_{1,71} = 6,377$; $p \geq 0,05$; 61 DAS: $F_{1,71} = 6,615$; $p \geq 0,05$), mesmo com a redução de 79,4% da população desse inseto no híbrido da Dekalb na segunda contagem (TABELA 12). A aplicação de silício no solo reduziu em 49,5 e 57,1% o número de pulgões em plantas nos híbridos DKB310PRO2 e P30F53YH, respectivamente (TABELA12).

TABELA 12. Número de Pulgões (*R. maidis*) por planta e erro padrão da média, aos 54 e 61 dias após a semeadura (DAS), com infestação natural da praga, em 2 híbridos de milho, plantados em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2016.

	Número de pulgões por planta					
	54 DAS		61 DAS		Média	
DKB310PRO2	225,4 ± 71,31	b ¹ B	46,4 ± 5,90	b A	135,9 ± 38,37	
P30F53YH	25,3 ± 9,30	a A	30,8 ± 8,10	a A	28,0 ± 6,09	
Média	125,3 ± 39,27		38,6 ± 5,11			

	Si+ ²		Si-		Média	
	DKB310PRO2	91,3 ± 29,22		180,6 ± 70,52		135,9 ± 38,37 b
P30F53YH	16,8 ± 2,71		39,2 ± 11,44		28,0 ± 6,09 a	
Média	54,0 ± 15,77 A		109,9 ± 37,18 B			

¹ médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem pelo Teste F, a 0,05 de significância.

² Si+ = com adubação silicatada.

Si- = sem adubação silicatada.

5.3.4 Fatores de produtividade

Em relação aos resultados de colheita, verificou-se somente a interação entre os fatores híbrido e adubação silicatada para o número de grãos por espiga ($F_{1,35} = 6,803$; $p \geq 0,05$). Para os demais parâmetros analisados aos 151 DAS – produtividade de grãos, peso de 1000 grãos, acamamento e quebramento de plantas, altura de plantas e inserção de espigas – não houve a interação citada acima (TABELA 13).

O híbrido DKB310PRO2 apresentou maior produtividade de grãos do que o P30F53YH ($F_{1,35} = 15,2$; $p \geq 0,05$), ambos com a mesma população final de plantas. A adubação silicatada não influenciou o rendimento de grãos (TABELA 14).

TABELA 13. Valor de P, do quadro de análise de variância (ANAVA) das variáveis de colheita de 2 híbridos de milho, plantados em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2017.

	Silício	Híbrido	Silício x Híbrido
NGE¹	0,7830	0,0024	0,0190
PMG	0,8315	0,0006	0,8460
PG	0,9893	0,0013	0,7053
POP	0,1621	0,3922	0,7011
ACAM	0,8859	0,9293	0,4369
QUEB	0,3383	0,0006	0,8403
APL	0,1068	0,0288	0,2714
AESP	0,2042	0,0548	0,5912

¹ NGE: número de grãos por espiga; PMG: peso de 1000 grãos; POP: população de plantas; PG: produtividade de grãos; ACAM: acamamento de plantas; QUEB: quebraamento de plantas; APL: altura de plantas; AESP: altura de espigas.

Com adubação silicatada o número de grãos por espiga do híbrido DKB310PRO2 foi maior do que sem adubação silicatada ($F_{1,35} = 19,248$; $p \geq 0,05$). Também, com silício, esse híbrido apresentou um número maior de grãos na espiga que o P30F53YH ($F_{1,35} = 4,171$; $p \geq 0,05$), porém, sem a adubação silicatada, o número de grãos por espiga não foi diferente entre os híbridos ($F_{1,35} = 2,710$; $p \geq 0,05$). O híbrido DKB310PRO2 também apresentou maior peso de grãos, independentemente da adubação silicatada ($F_{1,35} = 19,053$; $p \geq 0,05$) (TABELA 15).

TABELA 14. Produtividade de grãos e população de plantas por hectare de 2 híbridos de milho, plantados em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2017.

	Produtividade de Grãos (em t ha ⁻¹)			População de Plantas (em 1000 pl ha ⁻¹)		
	Si +²	Si -	Média	Si +	Si -	Média
DKB310PRO2	16,98	17,38	17,18 a ¹	75,40	73,82	74,61 a
P30F53YH	13,42	13,04	13,23 b	74,60	71,43	73,02 a
Média	15,20 A	15,21 A		75,00 A	72,62 A	

¹ médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, para cada variável, diferem pelo Teste F, a 0,05 de significância.

² Si + = com adubação silicatada.

Si - = sem adubação silicatada.

TABELA 15. Número de grãos por espiga e peso de 1000 grãos de 2 híbridos de milho, plantados em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2017.

	Número de grãos por espiga			Peso de 1000 grãos (g)		
	Si + ²	Si -	Média	Si +	Si -	Média
DKB310PRO2	766 a A ¹	711 a B	738	423	418	420 a
P30F53YH	647 b A	692 a A	670	370	368	369 b
Média	707	701		396 A	393 A	

¹ médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, para cada variável, diferem pelo Teste F, a 0,05 de significância.

² Si+ = com adubação silicatada.

Si - = sem adubação silicatada.

DKB310PRO2 apresentou uma maior altura de plantas que o P30F53YH ($F_{1,35} = 5,771$; $p \geq 0,05$). Entretanto, a altura de inserção da espiga foi a mesma para os dois germoplasmas. Não houve influência da adubação silicatada no porte de plantas e na altura de espigas (TABELA 16).

TABELA 16. Altura de planta e de inserção de espiga de 2 híbridos de milho, plantados em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2017.

	Altura de Planta (cm)			Altura de Inserção de Espiga (cm)		
	Si + ²	Si -	Média	Si +	Si -	Média
DKB310PRO2	235	233	234 a ¹	135	127	131 a
P30F53YH	230	217	223 b	124	121	123 a
Média	233 A	225 A		130 A	124 A	

¹ médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, para cada variável, diferem pelo Teste F, a 0,05 de significância.

² Si + = com adubação silicatada.

Si - = sem adubação silicatada.

Apesar do maior porte, DKB310PRO2 apresentou menor quebramento de plantas quando comparado a P30F53YH ($F_{1,35} = 10,197$; $p \geq 0,05$). O acamamento de plantas foi o mesmo para os dois híbridos ($F_{1,35} = 0,144$; $p \geq 0,05$). A adição de silício

ao solo não interferiu no resultado desses dois parâmetros (Quebramento: $F_{1,35} = 0,740$; $p \geq 0,05$; Acamamento: ($F_{1,35} = 0,002$; $p \geq 0,05$) (TABELA 17).

TABELA 17. Acamamento e quebramento de plantas de 2 híbridos de milho, plantados em solo com e sem adubação silicatada. Uberlândia. 2017.

	Acamamento de Plantas (%)			Quebramento de Plantas (%)		
	Si + ²	Si -	Média	Si +	Si -	Média
DKB310PRO2	6,1	6,9	6,5 a ¹	0,0	1,2	0,6 a
P30F53YH	7,6	7,3	7,4 a	7,7	12,2	10,0 b
Média	6,8 A	7,1 A		3,8 A	6,7 A	

¹ médias seguidas por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, para cada variável, diferem pelo Teste F, a 0,05 de significância.

² Si + = com adubação silicatada.

Si - = sem adubação silicatada.

6 DISCUSSÃO

6.1 RESISTÊNCIA CONSTITUTIVA DE HÍBRIDOS DE MILHO A *R. maidis*

De acordo com Smith e Clement (2012), a resistência de plantas a um determinado inseto deve apresentar herdabilidade genética. Para tanto, foram selecionados os genótipos com maior estabilidade (método da ecovalência) nos experimentos de campo e realizado o teste de crescimento populacional de *R. maidis*. Os resultados obtidos nos ensaios a campo e casa de vegetação para avaliação da susceptibilidade e resistência de híbridos a *R. maidis* mostraram que eles apresentam comportamentos diferentes entre si, evidenciando a influência do genótipo na referida variável. Esses resultados corroboram com Fonseca et al. (2004) que, ao trabalharem com 8 híbridos de sorgo, observaram que um foi resistente a *R. maidis*. Da mesma forma, Cruz et al. (1998), estudando em casa de vegetação a resistência de híbridos de sorgo ao pulgão *S. graminum*, verificaram que 4 genótipos apresentaram resistência a esse inseto. Apesar da existência de trabalhos realizados com sorgo, inclusive em híbridos comerciais, a resistência de híbridos de milho para *R. maidis* não tem tido a mesma atenção. A resistência constitutiva em milho a essa espécie de pulgão é conhecida (SMITH et al., 1994; RAZMJOU; GOLIZADEH, 2010; MEIHLS et al., 2013; LOUIS et al., 2015; TZIN, 2015). Porém, de acordo com nossos conhecimentos, esse é o primeiro trabalho que avaliou a resistência dessa espécie ao pulgão *R. maidis*, utilizando híbridos comerciais no Brasil.

Nos ensaios de campo, dois tipos de resistência podem ter sido responsáveis pela diferença na população de pulgões nos diferentes híbridos, a não-preferência e a antibiose. A não-preferência influencia na colonização das plantas pelos pulgões alados (BLACKMAN, 1990), fazendo com que busquem infestar as plantas mais suscetíveis quanto à não-preferência. Uma vez que os pulgões alados escolhem a planta, uma colônia é formada e os insetos ápteros são responsáveis pelo aumento populacional dos pulgões na planta (DIXON, 1972; BLACKMAN; EASTOP, 2000). Nessa etapa, a antibiose faz com que as colônias sejam maiores em plantas suscetíveis por esse tipo de resistência. Assim, não é possível definir se os híbridos com menor população de

pulgões nos ensaios de campo apresentaram não-preferência ou antibiose como tipo de resistência a *R. maidis*.

Já nos experimentos de casa de vegetação, como as plantas foram infestadas com os pulgões, a resistência por antibiose fez com que colônias menores de *R. maidis* fossem formadas no híbrido P30F53YH do que em DKB310PRO2. O experimento para verificar a resistência induzida por silício confirmou a importância da não-preferência e da antibiose como tipos de resistência em P30F53YH, já que uma menor porcentagem de plantas desse híbrido foi infestada naturalmente, evidenciando a não-preferência, e colônias com menor número de pulgões foram encontradas em infestação natural e manual de *R. maidis*, evidenciando a antibiose.

6.2 ACÚMULO DE SILÍCIO EM HÍBRIDOS DE MILHO

Segundo Ma e Yamaji (2008) existe uma enorme variação entre as espécies vegetais quanto ao acúmulo de silício. A sua concentração na parte aérea das plantas pode variar de 0,1% a 10% do peso seco entre as espécies, sendo que as espécies das famílias Cyperaceae e Gramineae são as que apresentam os maiores acúmulos desse nutriente (EPSTEIN, 1999; MA; TAKAHASHI, 2002; HODSON et al., 2005). Também existe uma variação genotípica na concentração de silício na parte aérea das plantas dentro de uma mesma espécie, embora essa variação, geralmente, não seja tão grande quanto a que existe entre as espécies (MA; YAMAJI, 2008). Os resultados observados no presente trabalho evidenciam que o acúmulo de silício no milho pode variar de acordo com o híbrido; e demonstram ainda que a sua concentração varia de acordo com o teor encontrado no solo e a eficiência do genótipo na sua absorção. Esses resultados corroboram com o encontrado por Ma et al. (2003), em cevada (*Hordeum vulgare* L.), os quais observaram numa pesquisa com cerca de 400 cultivares, que a concentração de Si nos grãos variou entre 1,24 e 3,8 mg g⁻¹. Em trabalho de campo com cana de açúcar (*Saccharum officinarum* L.), Deren (2001) observou que a concentração de silício nos brotos variou de acordo com a cultivar, entre 6,4 e 10,2 mg g⁻¹. Em arroz, variedades de *Oryza sativa* ssp. *indica* são menos eficientes no acúmulo de silício que variedades de *O. sativa* ssp. *japônica* (DEREN et al., 1992). Essa diferença no acúmulo de Si, em arroz, é explicada por uma desigualdade na habilidade das raízes na absorção do silício, em virtude de uma variação no nível de expressão dos genes transportadores de Si (Lsi1 e

Lsi2) (MA et al., 2007). Não são conhecidos trabalhos em milho, porém, no presente trabalho, quando realizada adubação silicatada, houve acúmulo de silício de até 1,97% para plantas com 62 dias em vasos e de mais de 3% em folhas de plantas com 72 dias, produzidas diretamente no solo.

6.3 RESISTÊNCIA INDUZIDA POR SILÍCIO EM HÍBRIDOS COM DIFERENTES GRAUS DE RESISTÊNCIA AO PULGÃO DO MILHO (*R. maidis*)

Diversos autores propõem que o silício é capaz de conferir resistência a insetos por formar uma barreira física pela sua deposição nas paredes do tecido vegetal (DAYANANDAM et al., 1983; EPSTEIN, 1994; BARBOSA FILHO et al., 2000), assim como por induzir a produção e a ativação de compostos de defesa na planta, como as peroxidases, as polifeloxidases e a fenilalanina-amoníaco-liase (FAWER et al., 1998; GOMES et al., 2005).

Ao realizar a infestação manual de *R. maidis* no cartucho de plantas de milho com resistência e susceptibilidade constitutiva a esse inseto, os resultados não evidenciaram redução na população, mesmo quando realizada a adubação silicatada nos dois germoplasmas, não sendo confirmada a hipótese de haver efeito de indução de resistência por antibiose com aplicação do silício. De maneira análoga, a porcentagem de plantas infestadas com *R. maidis* não foi afetada pelo silício, não se confirmando a hipótese de não-preferência induzida pelo silício utilizando essa variável. Por outro lado, nas plantas com infestação natural desse afídeo, observou-se grande redução no número de pulgões por planta quando realizada a fertilização com silício, tanto no híbrido com susceptibilidade constitutiva a essa praga, como no germoplasma resistente. Dessa forma, é provável que o efeito aditivo da não-preferência e da antibiose tenham sido necessários para ser verificada redução na população de *R. maidis* induzida por silício. Esse é o primeiro trabalho que compara a indução de resistência do silício em híbridos de milho com diferentes graus de resistência constitutiva a *R. maidis* em plantas cultivadas no solo e em condições em que os pulgões alados têm livre acesso às plantas para iniciar a infestação. Assim, o presente trabalho indica o efeito de não-preferência induzida pelo silício em condições mais próximas às que ocorrem em campo,

corroborando com os estudos anteriores em condições de laboratório (CARVALHO et al., 1999; MORAES et al., 2005; DIAS et al., 2014; ALMEIDA et al., 2015).

Os trabalhos avaliando a indução de resistência por não preferência pelo silício, não levaram em consideração a resistência constitutiva do germoplasma testado e utilizaram plantas em vasos ou em folhas destacadas em laboratório e com a utilização de gaiolas, o que força os pulgões a escolher por uma das plantas (MORAES et al., 2005; ALMEIDA et al., 2015). Ainda, em muitos estudos foi utilizada a forma áptera do pulgão, a qual não é a responsável por escolher a planta hospedeira (MORAES et al., 2005; ALMEIDA et al., 2015). Moraes et al. (2005), observaram o efeito do silício na não-preferência de ápteros de *R. maidis* por plantas adubadas com esse elemento, por meio de testes com folhas destacadas e em gaiolas em plantas de milho. Da mesma forma, Almeida et al. (2015), ao testarem 4 fontes de silício na atratividade de ápteros de *R. maidis* também observaram que a aplicação contribuiu para um aumento na indução da não-preferência ao pulgão *R. maidis*, em folhas destacadas de milho em laboratório. Por outro lado, Dias et al. (2014) verificaram que pulgões alados de *Sitobion avenae* (F.) preferiram plantas de trigo não adubadas com silício em condições de laboratório, indicando que a não-preferência induzida pelo silício pode reduzir a infestação inicial das plantas pelos afídeos. Diferentemente disso, os resultados de Alcantra et al. (2010) indicaram que não houve influência do silício na preferência do pulgão *Aphis gossypii* (Glover) alado por cultivares de algodão de fibras coloridas em laboratório.

Resultados foram obtidos em sorgo por Carvalho et al. (1999) que notaram, em genótipos dessa espécie em fase vegetativa, o dobro de insetos da espécie *S. graminum* na testemunha sem silício após 63 horas da liberação dos insetos. Também com *S. graminum*, mas em plantas de trigo na fase vegetativa, vários autores também verificaram o efeito negativo do silício na biologia do pulgão (BASAGLI et al., 2003; MORAES et al., 2004; GOMES et al., 2005; COSTA et al., 2007).

O número de grãos por espiga aumentou com a adubação silicatada e, apesar de reduzir a população de pulgões nas plantas, a produtividade de grãos não foi afetada pela aplicação de silício, assim como os outros fatores da produtividade avaliados, possivelmente em virtude da recuperação das plantas frente ao ataque dos pulgões e às condições climáticas favoráveis durante todo o ciclo da cultura. De acordo com Ma e Yamaji (2008), a função do silício nas plantas é protegê-las dos vários estresses bióticos

e abióticos. Sendo assim, o efeito positivo do silício no desenvolvimento das plantas tende a se tornar mais evidente sob condições de estresse, mas não sob condições normais.

7 CONCLUSÕES

Híbridos de milho apresentaram diferentes graus de resistência constitutiva a *R. maidis*. No campo, onde não foi possível separar os efeitos da antibiose e da não-preferência, os híbridos BM8850, AS1625PRO e DKB310PRO foram suscetíveis a *R. maidis* e P30F53H, STATUS VIP, BM9288, DAS2B587HX, DKB175PRO, AS1633PRO e DKB390PRO2 foram resistentes ao pulgão. Quando foi avaliada a antibiose, pelo crescimento populacional do pulgão, os híbridos AG7088PRO3 e DKB310PRO2 foram suscetíveis, ao passo que P30F53YH foi resistente a *R. maidis*.

Híbridos de milho diferiram na capacidade de acúmulo de silício na planta, sendo AG7098PRO2, AG8677PRO2, AS1633PRO2 e DKB390PRO2 mais eficientes no acúmulo desse nutriente e STATUS VIP menos eficiente.

A adubação silicatada, via solo, promoveu a indução de resistência em plantas de milho a *R. maidis*, independente do grau de resistência constitutiva do híbrido.

8 REFERÊNCIAS

- ADATIA, M. H.; BESFORD, R. T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. **Annals of Botany**, [S.I.], v. 58, n. 3, p. 343-351, 1986.
- AL-ERYAN, M. A. S.; EL-TABBAKH, S. S. Forecasting yield of corn, *Zea mays* infested with corn leaf aphid, *Rhopalosiphum maidis*. **Journal of Applied Entomology**, v. 128, n. 4, p. 312-315, 2004.
- ALCANTRA, E.; MORAES, J. C.; ANTONIO, A. Efeito de indutores da resistência e cultivares de algodão no comportamento de *Aphis gossypii*. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, p. 619-624, 2010.
- ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J. D.; COLIN, F.; KOUD, J. M. Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering processes. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 61, p. 677-682, 1997.
- ALMEIDA, A. C. L.; OLIVEIRA, E.; RESENDE, R. O. Fatores relacionados à incidência e disseminação do vírus do mosaico comum do milho. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 4, p. 766-769, 2001.
- ALMEIDA, A. C. L.; SILVA, L. P.; JESUS, F. G.; NOGUEIRA, L.; SOUZA NETO, M.; CUNHA, P. C. R. Efeito de indutores de resistência em híbridos de milho na atratividade do pulgão *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae). **Revista Agrarian**, Dourados, v. 8, n. 27, p. 23-29, 2015.
- ANNICHIARICO, P. Variety adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics of Breeding**, Rome, v. 46, n. 1, p. 269-278, 1992.
- ANDA, M.; SURYANI, E.; SUBARDJA, D. Strategy to reduce fertilizer application in volcanic paddy soils: nutrient reserves approach from parent materials. **Soil Tillage Research**, v. 150, p. 10-20, 2015.
- APPEL, H. M. Phenolics in ecological interactions: the importance of oxidation. **Journal of Chemical Ecology**, Springer, v. 19, p. 1521-1552, 1993.
- BALASTA, M. L. F.C. Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hull. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 67, n. 8, p. 2356-2363, Aug. 1989.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação Agrícola**. 4. ed., São Joaquim: Epagri, 2006. 237 p.
- BARAH, P.; BONES, A. M. Multidimensional approaches for studying plant defence against insects: from ecology to omics and synthetic biology. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, p. 479-493, 2015.
- BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; PRABHU, A. S.; DATNOFF, L. E.; KORNDORFER, G. H. Importância do silício para a cultura do arroz (uma revisão de literatura). **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 89, p. 1-8, 2000 (Encarte Técnico).
- BARKER, G. M. Grass host preferences of *Listronotus bonariensis* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Economic Entomology**, Maryland, v. 82, n. 6, p. 1807-1816, 1989.

- BASAGLI, M. A. B.; MORAES, J. C.; CARVALHO, G. A.; ECOLE, C. C.; GONÇALVES-GERVÁSIO, R. C. R. Effect of sodium silicate application on the resistance of wheat plants to green-aphids *Schizaphis graminum* (Rond.) (Homoptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 659-663, 2003.
- BING, J. W.; GUTHRIE, W. D.; DICKE, F. F.; OBRYCKI, J. J. Seedling stage feeding by corn leaf aphid (Homoptera: Aphididae): influence on plant development in maize. **Journal of Economic Entomology**, Maryland, v. 84, p. 625-632, 1991.
- BLACKMAN, R. L. Specificity in aphid/plant genetic interactions, with particular attention to the role of the alate colonizer. In: CAMPBELL, R. K.; EIKIENBARY, R. D. (Ed.). **Aphid-Plant genotype interactions**. Amsterdam: Elsevier, 1990. p. 251-274.
- BLACKMAN, R. L.; EASTOP, V. P. **Aphids on the world's crops**: an identification and information guide. 2. ed. Chichester: J. Wiley & Sons, 2000. 466 p.
- BOWLES, D. J. Defense-related proteins in higher plants. **Annual Review of Biochemistry**, v. 59, p. 873-907, 1990.
- BRUCE, T. J. A. Interplay between insects and plants: dynamic and complex interactions that have coevolved over millions of years but act in milliseconds. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 2, p. 455-465, 2015.
- CAI, K.; GAO, D.; LUO, S.; ZENG, R.; YANG, J.; ZHU, X. Physiological and cytological mechanisms of silicon-induced resistance in rice against blast disease. **Physiologia Plantarum**, v. 134, p. 324-333, 2008.
- CALLANDRA, I.; ZUB, K.; SZAFRANSKA, P. A.; ZALEWSKI, A.; MERCERON, G. Silicon – based plant defenses, tooth wear and voles. **Journal of Experimental Biology**, v. 219, p. 501-507, 2016.
- CARVALHO, S. P.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G. Efeito do silício na resistência do sorgo (*Sorghum bicolor*) ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rond.) (Homoptera: Aphididae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Piracicaba, v. 28, n. 4, p. 505-510, 1999.
- CHIBA, Y.; MITANI, N.; YAMAJI, N.; MA, J. F. HvLsi1 is a silicon influx transporter in barley. **Plant Journal**, v.57, p.810-818, 2009.
- CISNEROS, J. J.; GODFREY, L. D. Midseason pest status of the cotton aphid (Homoptera: Aphididae) in California cotton: is nitrogen a key factor? **Environmental Entomology**, v. 30, p. 501-510, 2001.
- CORNELIS, J. T.; DELVAUX, B.; GEORG, R. B.; LUCAS, Y.; RANGER, J.; OPFERGELT, S. Tracing the origin of dissolved silicon transferred from various soil-plant systems towards rivers: a review. **Biogeosciences**, v. 8, p. 89-112, 2011.
- COSTA, R. R.; MORAES, J. C.; ANTUNES, C.S. Resistência induzida em trigo ao pulgão *Schizaphis graminum* (hemiptera: aphididae) por silício e acibenzolar-s-methyl. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 393-397, 2007.
- COSTA, R. R., MORAES, J. C., COSTA, R. R. Feeding behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum* on wheat plants treated with imidacloprid and/or silicon. **Journal of Applied Entomology**, v. 135, p. 115-120, 2011.

- CRUZ, I.; VENDRAMIM, J. D.; OLIVEIRA, A. C. Determinação do período de avaliação de não-preferência de sorgo ao pulgão-verde, *Schizaphis graminum* (Rond.) (Homoptera: Aphididae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 27, n. 2, p. 299-302, 1998.
- CRUZ, I.; VALICENTE, F. H.; SANTOS, J. P.; WAQUIL, J. M.; VIANA, P. A. **Manual de identificação de pragas da cultura do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1997. 67 p.
- CRUZ, C. D. **Programa genes: biometria**. Viçosa, MG: UFV. 2006. 382 p.
- DALLAGNOL, L. J., RODRIGUES, F. A., PASCHOLATI, S. F., FORTUNATO, A. A., CAMARGO, L. E. A. Comparison of root and foliar applications of potassium silicate in otentiating post-infection defences of melon against powdery mildew. **Plant Pathology**, v. 64, p. 1085–1093, 2015.
- DANNON, E. A.; WYDRA, K. Interaction between silicon amendment, bacterial wilt development and phenotype of *Ralstonia solanacearum* in tomato genotypes. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 64, n. 5, p. 233-243, 2004.
- DAYANANDAM, P., KAUFMAN, P. B.; FRAKIN, C. I. Detection of silica in plants. **American Journal of Botany**, v. 70, p.1079-1084, 1983.
- DEDRYVER, C. A.; LE RALEC, A.; FABRE, F. The conflicting relationships between aphids and men: A review of aphid damages and of their control strategies, **Comptes Rendus Biologies**, v. 333, p. 539–553, 2010.
- DEREN, C. W., DATNOFF, L. E., SYNDER, G. H. Variable silicon content of rice cultivars grown in Everglades histosols. **Journal of Plant Nutrition**, v. 15, p. 2363-2368, 1992.
- DEREN, C. W. Plant genotype, silicon concentration, and silicon-related responses. IN: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. **Silicon in Agriculture** (Ed.), Amsterdam: Elsevier Science, 2001, p. 149–158.
- DESHMUKH, R. K.; VIVANCOS, J.; GUERIN, V.; SONAH, H.; LABBE, C.; BELZILE, F. Identification and functional characterization of silicon transporters in soybean using comparative genomics of major intrinsic proteins in *Arabidopsis* and rice. **Plant Molecular Biology**, v. 83, p. 303–315, 2013.
- DIAS, P. A. S.; SAMPAIO, M. V.; RODRIGUES, M. P.; KORNDÖRFER, A. P.; OLIVEIRA, R. S.; FERREIRA, S. E.; KORNDÖRFER, G. H. Induction of resistance by silicon in wheat plants to alate and apterous morphs of *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae). **Environmental Entomology**, v. 43, n. 4, p. 949-956, 2014.
- DIXON, A. F. G. Fecundity of brachypterous and macropterous alatae in *Drepanosiphum dixonii* (Callaphididae, Aphididae). **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 15, p. 335–340, 1972.
- DJAMIN, A.; PATHAK, M. D. Role of silica in resistance to asiatic rice borer, *Chilo suppressalis* (Walker), in rice varieties. **Journal of Economic Entomology**, Maryland, v. 60, n. 2, p. 347-351, 1967.
- DREYER, D. L.; CAMPBELL, B. C. Chemical basis of host plant resistance to aphids. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 10, p. 353-361, 1987.
- EPSTEIN, E. **Mineral nutrition of plants: principles and perspective**. New York, John Wiley & Sons, 1972.

- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings National of Academy Science**, v. 91, p. 11-17, 1994.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Anual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, p. 641-664, 1999.
- FARIA, R. **Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Lavras, Viçosa, 2000.
- FAWER, A.; ABOU-ZAID, M.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Siliconmediated accumulation of flavonoid phytoalexins in Cucumber. **Phytopathology**, St. Paul, v. 88, n. 5, p. 396-401, 1998.
- FELTON, G. W.; SUMMERS, C. B.; MUELLER, A. J. Oxidative responses in soybean foliage to herbivory by bean leaf beetle and three-cornered alfalfa hopper. **Journal of Chemical Ecology**, v. 20, p. 639-650, 1994.
- FERNANDES, F. T.; OLIVEIRA, E.; PINTO, N. F. J. A. **Doenças do milho**. 2. ed. ampl. e mod. Piracicaba-SP: POTAFOS, 1995. (Arquivo do agrônomo, n. 2).
- FONSECA, A. R.; CRUZ, I.; CARVALHO, C. F.; SOUZA, B. Resistência de genótipos de sorgo ao pulgão *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) e efeito no desenvolvimento da planta. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 585-592, 2004.
- FRANCESCHI, L; BENIN, G.; MARCHIORO, V. S.; MARTIN, T. N.; SILVA, R. R.; SILVA, C. L. Métodos para análise de adaptabilidade e estabilidade em cultivares de trigo no estado do Paraná. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, 2010.
- FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 2004, p. 40 -75.
- GASSEN, D.N. **Manejo de pragas associadas à cultura do milho**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 134 p.
- GUNTZER, F.; KELLER, C; MEUNIER, J. D. Benefits of plant silicon for crops: a review. **Agronomy Sustainable Development**, v. 32, p. 201-213, 2012.
- GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; SANTOS, C. D.; GOUSSAIN, M. M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 547-551, 2005.
- GOODMAN, R. N.; KIRALY, Z.; WOOD, K. R. Secondary metabolite. In: GOODMAN, R. N. **The biochemistry and physiology of plant disease**. Missouri: University of Missouri, 1986. p. 211-224.
- GOUSSAIN, M. M. **Efeito da aplicação do silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) e do pulgão-da-folha *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae)**. 2001. 64 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.
- GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSI, M. L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.

- GOUSSAIN, M. M.; PRADO, E.; MORAES, J. C. Effect of silicon applied to wheat plants on the biology and probing behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 807-813, 2005.
- GUNTZER, F.; KELLER, C.; MEUNIER, J. D. Benefits of plant silicon for crops: a review. **Agronomy Sustainable Development**, v. 32, p. 201–213, 2012.
- HAN, W. X.; FANG, J. Y.; REICH, P. B.; WOODWARD, F. I.; WANG, Z. H. Biogeography and variability of eleven mineral elements in plant leaves across gradients of climate, soil and plant functional type in China. **Ecology Letters**, v. 14, p. 788–796, 2011.
- HARBORNE, J. B. **Introduction to ecological biochemistry**. London: Academic press, 1993.
- HARTLEY, S. E.; FITT, R. N.; MCLARNON, E. L.; WADE, R. N. Defending the leaf surface: intra and inter-specific differences in silicon deposition in grasses in response to damage and silicon supply. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 35, 2015.
- HODSON, M. J.; WHITE, P. J.; MEAD, A; BROADLEY, M. R. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. **Annals of Botany**, London, v. 96, p. 1027–1046, 2005.
- HORBER, E. Types and classification of resistance. In: FOWDEN, F.G.; JENNINGS, P. R. (Ed.). **Breeding plants resistant to insects**. New York: John Wiley & Sons, 1980. p. 87-113.
- International Plant Nutrition Institute – IPNI. **Nutri-Facts. Silicon**, n. 14, 2015. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/nutrifacts-na.nsf/0/A7B4AB4D35C153BF85257ECE006E0E34/\\$FILE/NutriFacts-NA-14.pdf](http://www.ipni.net/publication/nutrifacts-na.nsf/0/A7B4AB4D35C153BF85257ECE006E0E34/$FILE/NutriFacts-NA-14.pdf)>. Acesso em: 30 abr. 2017.
- JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, v. 19, p. 107–149, 1967.
- KEEPING, M. G.; REYNOLDS, O. L. Silicon in agriculture: new insights, new significance and growing application. **Annals of Applied Biology**, v. 155, p. 153–154, 2009.
- KIN, H. S.; HEINRICHS, E. A. Effects of silica level on white backed planthopper. **International Rice Research Newsletter**, Manila, v. 7, n. 4, p. 17, 1982.
- KORNDÖRFER, C. M.; ABSALLA, A. L.; BUENO, I. C. S. O silício e as gramíneas no cerrado. **Veterinária Notícias**, Uberlândia, v. 7, n. 2, p. 153-193, 2001.
- KORNDÖRFER, G. H. **Uso do Silício na Agricultura**. Uberlândia: ICIAG, 2015. Disponível em: <<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/silicio/efeitos/efeitos.htm>>. Acesso em: 21 jun. 2016.
- KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 101-106, 1999.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 34 p.

- KVEDARAS, O. L.; KEEPING, M. G.; GOEBEL, F. R.; BYRNE, M. J. Larval performance of the pyralid borer *Eldana saccharina* walker and stalk damage in sugar cane: influence of plant silicon, cultivar and feeding site. **International Journal of Pest Management**, v. 53, p. 183–195, 2007.
- LARA, F. M. **Princípios de resistência de plantas a insetos**. São Paulo: Ícone, 1991. 336 p.
- LIANG, Y.; CHEN, Q.; LIU, Q.; ZHANG, W.; DING, R. *Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.)*. **Journal of Plant Physiology**, v. 160, p. 1157–1164, 2003.
- LIANG, Y.; MA, T. S.; LI, F. J.; FENG, Y. J. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous soils. **Communications in Soil Science and Plant Analyses**, v. 25, p. 2285–2297, 1994.
- LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BELANGER, R.; HAIJUN, G.; SONG, A. **Silicon in Agriculture: from theory to practice**. Dordrecht: Springer, 2015.
- LIMA FILHO, O. F.; GROTHGE-LIMA, M. T.; TSAI, S. M. O silício na agricultura. **POTAFOS, Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 87, p. 1-7, 1999.
- LOUIS, J.; BASU, S.; VARSANI, S.; CASTANO-DUQUE, L.; JIANG, V.; WILLIAMS, W. P.; FELTON, G. W.; LUTHE, D. S. Ethylene Contributes to maize insect resistance1-Mediated Maize Defense against the Phloem Sap-Sucking Corn Leaf Aphid. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 169, p. 313–324, 2015.
- MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. [S.I.], ELSEVIER, 2002, 274 p.
- MA, J. F., HIGASHITANI, A., SATO, K.; TATEDA, K. Genotypic variation in Si content of barley grain. **Plant Soil**, v. 249, p. 383-387, 2003.
- MA, J. F.; TAMAI, K.; YAMAJI, N.; MITANI, N.; KONISHI, S.; KATSUHARA, M. A silicon transporter in rice. **Nature**, v. 440, p. 688–691, 2006.
- MA, J. F.; TAMAI, K.; YAMAJI, N.; MITANI, N.; KONISHI, S.; FUJIWARA, T. Naefflux transporter of silicon in rice. **Nature**, v. 448, p. 209–212, 2007.
- MA, J. F.; YAMAJI, N.; TAMAI, K.; MITANI, N. Genotypic difference in silicon uptake and expression of silicon transporter genes in rice. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 145, p. 919-924, 2007.
- MA, J. F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Basel, v. 65, p. 3049-3057, 2008.
- MAIA, W. J. M.; CARVALHO, C. F.; CRUZ, I.; SOUZA, B.; MAIA, T. J. A. F. Influência da temperatura no desenvolvimento de *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemíptera: Aphididae) em condições de laboratório. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, p. 1470-1478, 2003. Edição especial.
- MANEVA, V.; SAVOVA, T.; MARCHEVA, M. Population size of aphid (*S. avenae* F.) in different varieties / breeding lines of oats (*Avena sativa* L.). In: Croatian & International Symposium on Agriculture, 44., 2009, Sadovo/Bulgaria. **Annals...** Sadovo/Bulgaria, v. 29, n. 2, 2009.

- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic, 1995. 889 p.
- MASSEY, F. P.; HARTLEY, S. E. Experimental demonstration of the anti-herbivore effects of silica in grasses: impacts on foliage digestibility and vole growth rates. **Proceedings of the Royal Society of London Royal Society**, London, p. 2299–2304, 2006.
- MASSEY, F. P.; HARTLEY, S. E. Physical defenses wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. **The Journal of Animal Ecology**, v. 78, p. 281–291, 2009.
- MAURICIO, R.; RAUSHER, M. D.; BURDICK, D. S. Variation in the defense strategies of plants: are resistance and tolerance mutually exclusive? **Ecology**, v. 78, p. 1301–1311, 1997.
- MEIHLS, L.; HANDRICK, V.; GLAUSER, G.; BARBIER, H.; KAUR, H.; HARIBAL, M. M.; LIPKA, A.; GERSHENZON, J.; ERB, E. S. B. M.; KOLLNER, T. G.; JANDER, G. Natural Variation in Maize Aphid Resistance Is Associated with 2,4-Dihydroxy-7-Methoxy-1,4-Benzoxazin-3-One Glucoside Methyltransferase Activity. **The Plant Cell**, v. 25, p. 2341–2355, 2013.
- MELLO, N. O.; NEGRI, B. F.; SOUZA, I. R. P. Detecção molecular de Potyvirus causador do mosaico comum do milho em plantas daninhas da família Poaceae. **Revista Brasileira de Ciências da Vida**, v. 3, n. 2, 2015.
- MILES, N.; MANSON, A. D.; RHODES, R.; VAN ANTWERPEN, R.; WEIGEL, A. Extractable silicon in soils of the South African sugar industry and relationships with crop uptake. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, p. 2949–2958, 2014.
- MITANI, N.; MA, J. F. Uptake system of silicon in different plant species. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, p. 1255–1261, 2005.
- MITANI, N.; CHIBA, Y.; YAMAJI, N.; MA, J. F. Identification and characterization of maize and barley Lsi2 – Like silicon efflux transporters reveals a distinct silicon uptake system from that in rice. **Plant Cell**, v. 21, p. 2133–2142, 2009.
- MITANI, N.; YAMAJI, N.; AGO, Y.; IWASAKI, K.; MA, J. F. Isolation and functional characterization of an influx silicon transporter in two pumpkin cultivars contrasting in silicon accumulation. **The Plant Journal**, v. 66, p. 231–240, 2011.
- MITANI-UENO, N.; YAMAJI, N.; MA, J. F. Silicon efflux transporters isolated from two pumpkin cultivars contrasting in Si uptake. **Plant Signal Behavior**, v. 6, p. 991–994, 2011.
- MOHAMMADI, M.; KAZEMI, H. Changes in peroxidase and polyphenol oxidase activities in susceptible and resistant wheat heads inoculated with *Fusarium graminearum* and induced resistance. **Plant Science**, v. 162, p. 491–498, 2002.
- MONTPETIT, J.; VIVANCOS, J.; MITANI-UENO, N.; YAMAJI, N.; REMUS-BOREL, W.; BELZILE, F. Cloning, functional characterization and heterologous expression of TaLsi1, a wheat silicon transporter gene. **Plant Molecular Biology**, v. 79, p. 35–46, 2012.

- MORAES, J. C.; CARVALHO, S. P. Indução de resistência em plantas de sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench. ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rond., 1852) (Hemiptera: Aphididae) com a aplicação de silício. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 6, p. 1185-1189, 2002.
- MORAES, J. C.; GOUSSAIN, M. M.; BASAGLI, M. A. B.; CARVALHO, G. A.; CARVALHO, E.; SAMPAIO, M. V. Silicon Influence on the Tritrophic Interaction: Wheat Plants, the Greenbug *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae), and Its Natural Enemies, *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) and *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 619–624, 2004.
- MORAES, J. C.; GOUSSAIN, M. M.; CARVALHO, G. A.; COSTA, R. R. Feeding non-preference of the corn leaf aphid *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) to corn plants (*Zea mays* L.) treated with silicon. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 761-766, 2005.
- NERI, D. K. P., MORAES, J. C.; GAVINO, M. A. Interação silício com inseticida regulador de crescimento no manejo da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 1167-1174, 2005.
- OLIVEIRA, E.; FERNANDES, F. T.; SOUZA, I. R. P.; OLIVEIRA, C. M.; CRUZ, I. **Enfezamento, viroses e insetos vetores em milho: Identificação e controle**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2003. 10 p. (Embrapa-CNPMS. Circular Técnica, 26).
- PAINTER, R. H. **Insect Resistance in Crop Plants**. New York: Macmillan, 1951. 520 p.
- PANDA, N.; KHUSH, G. S. **Host plant resistance to insects**. Wallingford: CAB, 1995. 448 p.
- PINTO, A. S.; PARRA, J. R. P.; OLIVEIRA, H. N. **Guia ilustrado de pragas e insetos benéficos do milho e sorgo**. Ribeirão Preto: ESALQ/USP, 2004. 108 p.
- PUZYRKOV, P. E.; DOROZHKINA, L. A.; DOLGUSHKIN, V. A. Application of tetraetoxisilane for increasing potato yield and for ecological safety of pesticides. **Izvestiya-Timiryazevskoi-Sel'skokhozyaistvennoi-Akademii**. Moscow, n. 2, p. 135-144, 1996.
- RAHMAN, A.; WALLIS, C.; UDDIN, W. Silicon induced systemic defense responses in perennial ryegrass against infection by *Magnaporthe oryzae*. **Phytopathology**, v. 105, p. 748–757, 2015.
- RAZMJOU, J.; GOLIZADEH, A. Performance of corn leaf aphid, *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (Homoptera: Aphididae) on selected maize hybrids under laboratory conditions. **Applied Entomology and Zoology**, v. 45, n. 2, p. 267-274, 2010.
- RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews**. v. 58, p. 179–207, 1983.
- REESE, J. C.; SCHWENKE, J. R.; LAMONT, P. S.; ZEHR, D. D. Importance and quantification of plant tolerance in crop pest management programs for aphids: greenbug resistance in sorghum. **Journal of Agricultural Entomology**, Clemson, v. 11, n. 3, p. 255-270, July 1994.

- RESENDE, M. D. V.; STURION, J. A.; HIGA, A. R. Comparação entre métodos de avaliação da estabilidade fenotípica e adaptabilidade aplicados a dados de *Eucalyptus cloeziana* (F. Muell), **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 42, p. 3-34, 2001.
- REYNOLDS, O. L.; PADULA, M. P.; ZENG, R.; GURR, G. M. Silicon: Potential to Promote Direct and Indirect Effects on Plant Defense Against Arthropod Pests in Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, art. 744, 2016.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, Viçosa: MG, 1999. 359 p.
- SALIM, M.; SAXENA, R. C. Iron, silica and aluminium stresses and varietal resistance in rice: effects on whitebacked planthopper. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 212-219, 1992.
- SALVADORI, J. R.; TONET, G. E. L. **Manejo integrado dos pulgões do trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 52 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 34).
- SILVA, A. M.; SAMPAIO, M. V.; OLIVEIRA, M. V.; KORNDORFER, A. P.; FERREIRA, S. E.; POLASTRO, G. C.; DIAS, P. A. S. Antibiosis and non-preference of *Sitobion avenae* (F.) (Hemiptera: Aphididae) on leaves and ears of comercial cultivars of wheat (*Triticum aestivum*). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 42, p. 304-310, 2013.
- SILVA, L. S.; BOHNEN, H. Produtividade e absorção de nutrientes pelo arroz cultivado em solução nutritiva com diferentes níveis de silício e cálcio. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 9, n. 1, p. 49-52, 2003.
- SMITH, C. M.; KHAN, Z. R.; PATHAK, M. D. **Techniques for Evaluating Insect Resistance in Crops Plants**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1994. 320 p.
- SMITH, C. M. **Plant resistance to arthropods: molecular and conventional approaches**. Dordrecht, Netherlands: Springer, 2005. 423 p.
- SMITH, C. M.; CLEMENT, S. L. Molecular bases of plant resistance to arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 57, p. 309–328, 2012.
- SOGAWA, K. The rice Brown plant hopper feeding physiology and host plant interactions. **Annual Review of Entomology**, v. 27, p. 49-73, 1982.
- SOLIMAN, A. M.; EL-ATTAR, W. M.; ABOU-ELELA, R. G.; ABD-EL-WAHAB, A. E. Effect of certain chemical components and source of rice plant on its resistance to rice stem borer, *Chilo agamemnon* Bles. and rice leaf miner, *Hydrellia prosternalis*, Deem. **Egyptian Journal of Agricultural Research**, Cairo, v. 75, n. 3, p. 667-680, 1997.
- STOETZEL, M. A.; MILLER, G. L. Aerial feeding aphids of corn in the United States with reference of the root-feeding *Aphis maidiradicis* (Homoptera: Aphididae). **Florida Entomologist**, v. 84, n. 1, p. 83-98, 2001.
- STOUT, M. J.; WORKMAN, J.; DUFFEY, S. S. Differential induction of tomato foliar proteins by arthropod herbivores. **Journal of Chemical Ecology**, v. 20, p. 2575-2594, 1994.
- STRUYF, E.; SMIS, A.; VAN DAMME, S.; GARNIER, J.; GOVERS, G.; VAN WESEMAEL, B. Historical land use change has lowered terrestrial silica mobilization. **Nature Communications**, v. 1, p. 129, 2010.

- SUBRAMANIAN, S.; GOPALASWAMY, A. Effect of silicate materials on rice crop pests. **International Rice Research Newsletter**, Manial, v. 13, n. 3, p. 32, June 1988.
- TAYABI, K.; AZIZI, P. Influence of silica on rice yield and stem-borer (*Chilo suppressalis*) in Rasht/Iran 1979-1980. **Pesticides**, Sacramento, v. 18, n. 5, p. 20-22, 1984.
- TEETES, G. L. Breeding sorghum resistant to insects. In: MAXWELL, F. G.; JENNINGS, P. R. (Ed.). **Breeding plants resistant to insects**. New York: [S.N.], 1980. 683 p.
- TINGEY, W. M. Techniques for evaluating plant resistance to insects. In: MILLER, J.R.; MILLER, T.A. (Ed.). **Insect-plant interactions**. New York: Springer-Verlag, 1986. p. 251-284.
- TINGEY, W. M.; SINGH, S. R. Environmental factors influencing the magnitude and expression of resistance. In: FOWDEN, F. G.; JENNINGS, P. R. (Ed.). **Breeding plants resistant to insects**. New York: John Wiley & Sons, 1980. p. 87-113.
- TZIN, V.; FERNANDEZ-POZO, N.; RICHTER, A.; SCHMELZ, E. A.; SCHOETTNER, M.; SCHÄFER, M.; AHERN, K. R.; MEIHLS, L. N.; KAUR, H.; HUFFAKER, A.; MORI, N.; DEGENHARDT, J.; MUELLER, L. A.; JANDER, G. Dynamic Maize Responses to Aphid Feeding Are Revealed by a Time Series of Transcriptomic and Metabolomic Assays. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 169, p. 1727–1743, 2015.
- United States Department of Agriculture – USDA. **World Production, Markets and Trade Reports**. Foreign Agriculture Service, January 12, 2017. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2017.
- VIANA, P. A. **Ocorrência e controle de pragas na safrinha de milho nas Regiões Norte e Oeste do Paraná**. Sete Lagoas, MG: [S.N.], 2004. (Circular técnica, n. 45).
- WANG, H. S.; WANG, C.Y.; PEI-PEI, F.; BIN-FU, B.; TAO, L.; ZHU-JUN, Z. Identification of two cucumber putative silicon transporter genes in *Cucumis sativus*. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 34, p. 332–338, 2015.
- WAQUIL, J. M.; OLIVEIRA, E.; VIANA, P. A.; CRUZ, I.; SANTOS, J. P.; VALICENTE, F. H.; FERNANDES, F. T.; PINTO, N. F. J. A.; CASELA, C.R.; FERREIRA, A.S.; OLIVEIRA, A.C. **Bioecologia e controle de insetos vetores de patógenos na cultura do milho**. Sete lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 38 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 28).
- WAQUIL, J. M.; OLIVEIRA, E.; PINTO, N. F. J. A.; FERNANDES, F. T.; CORREA, L. A. Efeito na produção e incidência de viroses em híbridos comerciais de milho. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 460-63, 1996.
- WRANG, S. S.; KIM, K.; HESS, W. M. Variation of silica bodies in leaf epidermal long cells within and among seventeen species of *Oryza* (Poaceae). **American Journal of Botany**, v. 85, n. 4, p. 461-466, 1998.
- WRICKE, G. Zur Berechnung der Ökovalenz bei Sommerweizen und Hafer. **Pflanzenzüchtung**, v. 52, p. 127-138, 1965.
- YAMAJI, N.; MITATNI, N.; MA, J. F. A transporter regulating silicon distribution in rice shoots. **Plant Cell**, v. 20, p. 1381–1389, 2008.