

KATYUSCIA FERREIRA LAVRINS BESSA

**TOLERÂNCIA DE HÍBRIDOS DE MILHO Bt EM CULTIVOS COMERCIAIS A
ENFEZAMENTO, CIGARRINHA E LAGARTA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Defesa Sanitária Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Eliseu José Guedes Pereira

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

B557t Bessa, Katyuscia Ferreira Lavrins, 1994-
2021 Tolerância de híbridos de milho Bt em cultivos comerciais a
enfezamento, cigarrinha e lagarta: estudo de caso em Goiás /
Katyuscia Ferreira Lavrins Bessa. – Viçosa, MG, 2021.
1 dissertação eletrônica (37 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Eliseu José Guedes Pereira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Entomologia, 2021.
Referências bibliográficas: f. 33-37.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.189>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Milho - Resistência a doenças e pragas. 2. Molicutes.
3. Milho - Comercialização. I. Pereira, Eliseu José Guedes,
1976-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Entomologia. Programa de Pós-Graduação em Defesa Sanitária
Vegetal. III. Título.

CDD 22. ed. 633.15932

Bibliotecário(a) responsável: Renata de Fátima Alves CRB6/2578


KATYUSCIA FERREIRA LAVRINS BESSA

**TOLERÂNCIA DE HÍBRIDOS DE MILHO Bt EM CULTIVOS COMERCIAIS A
ENFEZAMENTO, CIGARRINHA E LARGATA**


Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Defesa Sanitária Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 07 de agosto de 2021.

Assentimento:



Katyuscia Ferreira Lavrins Bessa
Autora



Eliseu José Guedes Pereira
Orientador

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CNPq).

Ao Mestrado Profissional em Defesa Sanitária Vegetal.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG Sudeste.

Ao meu esposo Diego Faria Almeida.

Aos meus pais Ivo Ferreira Bessa e Maria Lúcia Ferreira Lavrins Bessa.

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

BIOGRAFIA

Katyuscia Ferreira Lavrins Bessa, filha de Maria Lúcia Ferreira Lavrins Bessa e Ivo Ferreira Bessa, nascido em 15 de junho de 1994, no município de Rio Verde – Goiás, em 1994 formou-se em Técnico Agropecuária pelo Instituto Federal Goiano em Rio Verde.

Em 2018 graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Faculdade Católica do Tocantins em.

Trabalhou durante anos nas comercializações de produtos Renovar Agrícola e Juma-Agro e atualmente como Representante Técnica de Vendas na Bayer.

Em agosto de 2019 ingressou-se no Curso de Mestrado Profissional em Defesa Vegetal Sanitária na Universidade Federal de Viçosa, realizando pesquisa sobre tolerância de híbridos de milho bt em cultivos comerciais a enfezamento, cigarrinha e lagarta.

RESUMO

BESSA, Katyuscia Ferreira Lavrins, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2021. **Tolerância de híbridos de milho Bt em cultivos comerciais a enfezamento, cigarrinha e lagarta.** Orientador: Eliseu José Guedes Pereira.

Os enfezamentos de milho (*Zea mays*), causados por patógenos (molicutes) disseminados pela cigarrinha do milho *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae), têm sido um desafio para a defesa sanitária vegetal de muitos países americanos. Isso se deve às perdas causadas na produção do cereal, problema que também representa um risco fitossanitário para outras regiões do mundo. A maioria dos híbridos de milho cultivados no Brasil atualmente expressa transgenes de *Bacillus thuringiensis* (Bt), visando controle de lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), mas muitas das lavouras requerem proteção extra contra a cigarrinha do milho para controlar a epidemia de enfezamentos do milho. Objetivou-se neste trabalho avaliar a tolerância dos híbridos comerciais de milho Bt aos enfezamentos ou infestação pela cigarrinha e lagarta. Durante a segunda safra (safrinha) de 2019/2020, foram estudados campos de milho em três localidades (fazendas) no sudoeste de Goiás para selecionar híbridos de milho tolerantes aos enfezamentos entre oito daqueles híbridos comumente cultivados no país. A densidade populacional da cigarrinha do milho, a intensidade da injúria foliar pela lagarta do cartucho e a produção das plantas foram contabilizadas. Os níveis populacionais do inseto vetor nas lavouras de milho foram relativamente baixos, 11–14 cigarrinhas por 10 plantas. Maior densidade populacional do vetor ocorreu nas plantas dos híbridos DKB335PRO3, DKB360PRO3 e AG8480PRO3. Os híbridos com maior incidência (porcentagem de plantas sintomáticas) de enfezamento foram MG593PWU, NK555VIP3 e B2401PWU. Aqueles de maior produtividade foram DKB360PRO3, KB335PRO3 e DKB2550PRO3. Não se observou correlação significativa entre os níveis populacionais da cigarrinha com a incidência de enfezamentos, mas esta última correlacionou-se negativamente com a produtividade de grãos. As plantas de milho que possuíam as tecnologias transgênicas Bt PWU e VIP3 praticamente não apresentaram injúrias da lagarta do cartucho. As plantas de milho com a tecnologia Bt PRO3 apresentaram raspagens nas folhas, com nota ≤ 3 na escala Davis, mas essa injúria não interferiu na

produtividade de grãos pelas plantas. Esses resultados são importantes para atualizar o conhecimento sobre tolerância de híbridos de milho aos enfezamentos, fornecendo informações que auxiliarão produtores e profissionais a escolher híbridos adequados dependendo do risco de epidemia de enfezamento na região ou safra.

Palavras-chave: *Zea mays*. Resistência. cigarrinha do milho. Molicute. Vírus. Infestação. incidência/severidade. produtividade de grãos.

ABSTRACT

BESSA, Katyuscia Ferreira Lavrins, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2021. **Tolerance of Bt corn hybrids in commercial crops to stunning, little cutler and caterpillar.** Advisor: Eliseu José Guedes Pereira.

Corn stunt disease, caused by pathogens (mollicutes) spread by the corn leafhopper *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae), has been a challenge to plant health in many American countries. That is due to the yield losses caused in maize production (*Zea mays*), and the problem may threaten to other regions of the world. The majority of maize hybrids grown in Brazil currently express *Bacillus thuringiensis* (Bt) transgenes, useful against the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*), but the fields often require extra crop protection against the corn leafhopper to control the spread of corn stunt disease. There can be commercial Bt maize hybrids that are relatively more tolerant to the corn stunt disease or infestation by the corn leafhopper, which was the hypothesis and objective of this research. During the second 2019/2020 growing season, maize fields in three localities (farms) in southwestern Goiás state, Brazil, were studied to select maize hybrids more tolerant to the corn stunt disease complex among eight maize hybrids commonly used in the country. The population density of the corn leafhopper, the foliar injury by the fall armyworm, and the grain yield were determined. Relatively low population density levels of the insect vector were observed in the maize fields, 11–14 leafhoppers per 10 plants. The highest population density of the insect vector occurred in plants of maize hybrids DKB335PRO3, DKB360PRO3, and AG8480PRO3. The fields of maize hybrids MG593PWU, NK555VIP3, and B2401PWU had higher incidence (i.e., greater percentage of symptomatic plants) of corn stunt disease. The fields of maize hybrids DKB360PRO3, KB335PRO3 and DKB2550PRO3 had greater grain yields. There was no significant correlation between the population levels of the corn leafhopper and the incidence of corn stunt disease, but the latter was negatively correlated with grain yield. Maize plants carrying the transgenic Bt technologies PWU and VIP3 had no foliar injury by fall armyworm larvae. PRO3 Bt maize plants had little larval scrapings on the leaves, with score ≤ 3 in the Davis rating scale, but this injury level did not reduce the grain yield of the plants. These results are important to update the knowledge about tolerance of maize hybrids to corn stunt

disease, providing information which will help growers or crop consultants to select appropriate hybrids depending on the risk of corm stunt epidemic in the region or growing season.

Keywords: *Zea mays*. Resistance. corn leafhopper. Mollicute. Virus. Infestation. incidence/severity. maize grain yield.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Ilustração da escala adaptada de Davis (1989) usada para determinação da injúria foliar pela lagarta do cartucho.....24
- Figura 2:** Insetos, enfezamento e desempenho produtivo de grãos em híbridos de milho cultivados na segunda safra de 2019/2020 em três locais no sudoeste do estado de Goiás. A) Infestação pelo vetor de enfezamentos do milho, a cigarrinha *Dalbulus maidis* e B) incidência da doença. C) intensidade de injúria pela lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda* e D) produtividade em híbridos de milho em cultivos do sudoeste de Goiás. Médias e erros padrões com a mesma linha horizontal não são significativamente diferentes ($P < 0.05$, modelos lineares generalizados)30
- Figura 3:** Relação entre o ataque de cigarrinha e de lagarta do cartucho e a produção de milho grão nos cultivos estudados. Mostrado nos painéis estão os valores do coeficiente de correlação de Pearson (r) e valor de probabilidade (P). Os pares de variáveis com coeficientes de correlação positivos e valores P abaixo de 0,05 tendem a aumentar juntos. Para os pares com coeficientes de correlação negativos e valores P abaixo de 0,05, uma variável tende a diminuir enquanto a outra aumenta. Para pares com valores P superiores a 0,05, não há relação significativa entre as duas variáveis31

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Descrição dos agroquímicos utilizados no manejo dos cultivos de milho estudados.....23
- Tabela 2:** Descrição dos sintomas de enfezamentos disseminados pela cigarrinha D. maidis (NEVES, 2018), usados para determinar a incidência nas plantas.....25
- Tabela 3:** Resultados dos testes de efeitos fixos nos modelos lineares generalizados utilizados para a análise das variáveis26

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1. A cigarrinha do milho	15
2.2. Caracterização do sistema de cultivo do milho no Brasil	16
2.3. Patógenos e sintomas de enfezamento do milho.....	18
2.4. Manejo da cigarrinha do milho e enfezamentos.....	20
2.5. Resistência varietal aos enfezamentos.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. Condução do trabalho e coleta dos dados	22
3.2. Análise dos dados.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5. CONCLUSÕES	32
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é reconhecido pela sua grande produção agropecuária, que cresce a cada ano e contribui fundamentalmente para as exportações e o aumento do PIB (Produto Interno Bruto) do país. Estima-se que a produção de grãos na safra 2020/21 chegue a 264,8 milhões de toneladas, com um crescimento de 3,1% (7,9 milhões de toneladas) em comparação com a safra 2019/20 (CONAB, 2021). Com isso, o país ocupa a quarta posição entre aqueles com maior produção (atrás somente da China, Estados Unidos e Índia) com 7,8% da produção mundial de grãos (CONAB, 2021).

O milho (*Zea mays* L., Poaceae) é um dos mais significativos cereais, cuja produção brasileira deve atingir 105 milhões de toneladas na safra 2020/2021, tendo um aumento de 2,9% em comparação à safra anterior (CONAB, 2021). O cereal é nativo das Américas, principalmente México, e seu cultivo teve início há mais de 8000 anos, sendo encontrado em vários países, em razão da sua facilidade em se adaptar e ainda, apresentar genótipos diversos (KRISHNA, 2013). No Brasil, a produção de milho teve início nos estados das regiões Sul e Sudeste e, também, em Goiás e, posteriormente, se expandiu pelo restante do país, até se tornar a cultura com maior incorporação de tecnologia nos últimos anos. O milho se destaca como uma importante fonte de renda na agricultura, em virtude de ser fonte de insumos e matéria-prima para a fabricação de ração para aves, suínos, bovinos, entre outros animais, além de fazer parte da alimentação humana (OLIVEIRA, 2020). A produção de milho tem alto potencial de contribuir para sustentação da crescente população mundial (KRISHNA, 2013).

Diversos são os fatores que contribuíram para o aumento da produção do grão no Brasil e para a alta produtividade nas regiões produtoras. Entre eles se destaca a disponibilidade de cultivares com características diversificadas para cultivo em diversas regiões e sistemas de sucessão de culturas, como o sistema soja-milho, predominante no cerrado. Assim, a alta qualidade do germoplasma utilizado e o acelerado melhoramento genético realizado em diversas empresas de sementes disponibilizam aos produtores variedades híbridas com alta eficiência para aproveitar a água em estágios fenológicos críticos e para interceptar a radiação solar pelo dossel, com alta eficiência metabólica e de translocação de fotossintatos para os grãos (MAPA, 2021). O setor de sementes brasileiro é essencial para a manutenção dos padrões de eficiência do agronegócio nacional atualmente. As empresas de sementes

contribuem bastante para o aumento da produtividade, em especial por direcionar as vendas das cultivares de acordo com a região, bem como levando em consideração a avaliação sobre as doenças de maior ocorrência na região, o sistema de produção mais utilizado, as exigências do mercado e o perfil dos agricultores, o que influencia na qualidade do produto (FRITSCH NETO; MÔRO, 2015).

Contudo, o volume de perdas nesta cultura ainda é relevante e gera impacto econômico para a sustentabilidade da propriedade rural produtora de milho. Pontua-se que um dos principais fatores geradores de perdas é a utilização agricultura intensiva, praticada nas regiões tropicais e subtropicais, em que a sucessão de cultivos oferece contínua disponibilidade de plantas hospedeiras a insetos-praga e patógenos, os quais podem ocasionar danos diretos ou indiretos na cultura. Nessas condições, a grande pressão das populações de pragas e a intensa pressão de seleção para resistência delas aos métodos de controle têm levado à rápida quebra da resistência das plantas nos cultivares com biotecnologias para controle de insetos-alvo (PEREIRA et al, 2018).

A cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*, Hemiptera: Cicadellidae) se apresenta como um vetor de mollicutes e vírus que causam enfezamento nas plantas e impactam consideravelmente a produtividade delas (WAQUIL et al., 1997; NEVES, 2018; OLIVEIRA, 2020). Denomina-se enfezamento o avermelhamento ou amarelecimento generalizado da planta e estrias esbranquiçadas, geralmente associadas a outros (ALVES, 2015).

Nos últimos anos, a cigarrinha aumentou os níveis populacionais, talvez pela redução na aplicação de inseticidas em campos de milho, associada à introdução dos cultivares de milho Bt (*Bacillus thuringiensis*) para o controle algumas espécies de lepidópteros (SILVA et al., 2017; PEREIRA et al., 2018).

É fácil imaginar o impacto negativo que o enfezamento pode provocar no potencial produtivo de uma planta suscetível que for infectada precocemente e da lavoura de milho se houver um grande número dessas plantas infectadas. Por isso, podem ocorrer grandes perdas de produtividade, entre 20 a 100%, dependendo do estágio fenológico das plantas em que elas forem infectadas (HRUSKA & PERALTA, 1997; MASSOLA Jr et al., 1999; NEVES, 2018, OLIVEIRA, 2020).

Omoto e Bernardi (2015) destaca, ainda o potencial destruidor das lagartas do cartucho, o que também requer gastos com inseticidas, especialmente porque as lagartas resistentes conseguem sobreviver na cultura e transmitir a resistência para

outras safras, o que faz com que a lagarta do cartucho seja, também, considerada uma das principais pragas que afetam a cultura do milho.

Dado o risco de perdas na produção de milho pelo problema, são necessárias medidas de controle disponíveis e *know-how* para usá-las adequadamente (EMBRAPA & CROPLife, 2020). O conhecimento e experiência no controle de doenças infecciosas transmitidas por vetores em animais (humanos) e plantas são úteis no manejo do problema de enfezamentos no milho. Assim, deve-se procurar abaixar a população do vetor visando manter níveis aceitáveis de incidência de plantas doentes. Isso deve ser feito com uso de técnicas de manejo integrado, por exemplo, utilizando-se inseticida de alta eficiência e rapidez de ação, integrando-o com outros métodos de controle, dentre eles o uso de resistência aos patógenos e/ou ao inseto vetor (STOUT, 2013).

Em 2021, foi grande o surto de cigarrinha do milho e a incidência de enfezamentos em lavouras de milho dos estados da Região Sul do Brasil e partes da Argentina e Paraguai (SILVA et al., 2017). Além da grande área cultivada com milho nessas regiões e das condições de clima favoráveis ao inseto (pouca chuva e temperaturas elevadas, acima de 17 °C à noite e de 27 °C de dia), as altas populações de *D. maidis* e perdas pelos enfezamentos podem estar relacionadas à alta suscetibilidade do germoplasma de milho atualmente utilizada. O melhoramento genético realizado nos últimos anos forneceu híbridos de milho de alto potencial produtivo e com resistência a lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) pela expressão de toxina de Bt (SILVA et al., 2017; PEREIRA et al., 2018), mas ainda se desconhece como muito desses modernos híbridos de milho respondem ao ataque do inseto e incidência de enfezamento.

Assim, o objetivo neste trabalho foi selecionar dentre alguns híbridos de milho Bt, aqueles com mais tolerância aos danos causados por enfezamentos, cigarrinha *D. maidis* e pela lagarta à cultura do milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cigarrinha do milho

Há muitos anos a cigarrinha do milho causa prejuízos à cultura deste cereal, principalmente por se tratar de um inseto que se movimenta facilmente e encontra-se em todas as regiões tropicais e subtropicais (WAQUIL et al., 1997; 1998; OLIVEIRA et al., 2002). A cigarrinha se alimenta da seiva das plantas, diretamente nos vasos condutores, onde elas succionam a seiva do xilema e floema das plantas. Seus hospedeiros restringem-se ao gênero *Zea spp.*, e as espécies anuais ou perenes do Teosinto. Porém, raramente são verificadas em plantas de gêneros que se assemelham ao milho, como é o caso do *Tripsacum* e da *Euchlaena* (WAQUIL, 2004).

A cigarrinha *D. maidis*, é um inseto de coloração branco-palha (creme) ou levemente acinzentada, medindo aproximadamente 0,5 cm (WAQUIL et al., 1997). O inseto se alimenta da seiva da planta de milho e realiza postura sob a epiderme da folha, em especial na nervura central de folhas do cartucho da plântula (WAQUIL et al., 1997; 1998; EMBRAPA, 2017). A cigarrinha apresenta duas manchas circulares negras bem delineadas no alto da cabeça (SILVA et al., 2017). Em áreas infestadas, é fácil notar os insetos adultos, os quais se alimentam, principalmente, no cartucho das plantas de milho. Ao microscópio, os insetos apresentam uma coloração parda a amarelada, com asas transparentes e duas fileiras de espinhos nas tíbias posteriores (último par de pernas) (OLIVEIRA, 2018). O inseto apresenta fase embrionária de aproximadamente nove dias e a ninfa fica no interior do cartucho do milho, onde passa por cinco instares, com duração de cerca de dezessete dias. Ressalta-se que em temperaturas inferiores aos vinte graus as ninfas não conseguem eclodir, por afetar sua biologia (WAQUIL, et al., 1997).

Nas regiões tropicais, a temperatura e a existência de hospedeiros favorecem altas populações da cigarrinha. A densidade populacional desse inseto pode ser maior que dez por planta, isto em épocas mais quentes (WAQUIL, et al., 2017; OLIVEIRA, 2020), como se observa, por exemplo, no Cerrado. Além disso, lavouras com a adubação inadequada e o cultivo sucessivo de milho durante todo o ano, aliado à existência de plantas doentes, principalmente o milho tiguera (espontâneo), torna maior a suscetibilidade da cultura do milho a esta praga (EMBRAPA & CROPLife, 2021).

De igual forma, a expansão da cultura do milho no país, com cultivos em larga escala e em duas ou mais safras (GALVÃO et al., 2014), também se apresenta como fator potencializador da ocorrência de cigarrinha no milho. Pelo que se sabe, no Brasil, somente milho é a planta hospedeira em que o inseto consegue completar o seu ciclo (SILVA et al., 2017). Havendo disponibilidade contínua e em larga escala da cultura, as populações de *D. maidis* têm expandido bastante (SILVA et al., 2017; NEVES, 2018; OLIVEIRA, 2020).

O complexo de enfezamentos do milho é causado por fitoplasmas e espiroplasmas, da classe das Mollicutes (HOGENHOUT et al., 2008), que causam o enfezamento vermelho e enfezamento pálido, respectivamente. Além disso, o vírus da risca (Maize rayado fino virus – MRFV), também causa sintomas similares em campo (OLIVEIRA et al., 1998). O agravamento do problema da cigarrinha do milho tem sido mais notado na segunda safra, em razão da associação do inseto com o enfezamento. Os sintomas da doença foram infecção vasos vasculares do floema da planta por bactérias da classe dos mollicutes, principalmente um espiroplasma (*Spiroplasma kunkelii*) e um fitoplasma (*Maize bushy stunt*) (EMBRAPA, 2017; JUNQUEIRA et al., 2004; MASSOLA JÚNIOR et al., 2004).

A planta com enfezamento fica com a translocação de seiva elaborada comprometida ou totalmente obstruída, dependendo do grau de infecção (JUNQUEIRA et al., 2004; MASSOLA Jr et al., 2004). Consequentemente, aparecem sintomas dessa disfunção fisiológica. Os principais sintomas foliares dos enfezamentos são: descoloração nas margens e na parte apical das folhas; secamento ou avermelhamento, principalmente nas folhas superiores da planta, coloração esta que varia de acordo com o tipo de cultivar de milho; redução no tamanho das espigas; mau enchimento de grãos e grãos “chochos”. Além destes, as plantas ainda podem apresentar sintomas como: proliferação de espigas; brotamento nas axilas das folhas; emissão de perfilhos na base das plantas; encurtamento de entrenós acima das espigas; má formação das palhas das espigas; e proliferação de radículas (OLIVEIRA, 2018; NEVES, 2018; OLIVEIRA, 2020).

2.2. Caracterização do sistema de cultivo do milho no Brasil

O sistema de cultivo do milho no Brasil ocorre em duas safras, no verão (primeira safra) e na safrinha (segunda safra). Isso pode permitir que haja uma ponte verde da cultura e também, que o ciclo de vida da cigarrinha se complete, favorecendo

o aumento de sua população (GALVÃO et al., 2014; SILVA et al., 2017). Estudos dão conta da existência da cigarrinha do milho em quase todo o território brasileiro, exceto a região Norte, onde ainda não há registros (OLIVEIRA et al., 1998; 2002; MASSOLA Jr. et al., 2004). Ademais, na agricultura brasileira a sucessão entre a cultura da soja e de milho com a biotecnologia para tolerância a herbicida é uma realidade nas diversas regiões do país. Isto gerou o aumento da presença de milho voluntário na cultura da soja, o que desafia os produtores (MASSOLA Jr. et al., 2004). Verifica-se que à medida que se intensificou o cultivo no sistema de “safrinha”, esta nova prática acabou por favorecer o aumento de pragas e doenças próprias do milho. Por fim, dentre os fatores que potencializam a incidência, assim como aumenta a severidade da doença, se destacam os seguintes: semeadura tardia, ausência de rotação de culturas, cultivo safrinha, presença de restos culturais e uso de irrigação frequente (HRUSKA & PERALTA, 1996; MASSOLA Jr. et al., 2004).

A expansão da área plantada e o cultivo do milho na safrinha parecem ter gerado mudanças na dinâmica de plantio, o que favorece a presença do hospedeiro no campo por um período maior e assim, influencia diretamente a incidência do complexo de doenças (GALVÃO et al., 2014; PINTO, 2021). Para transmissão dos patógenos pela cigarrinha, o inseto necessita alimentar-se de uma planta doente e, transcorrido um período latente, consegue transmitir os mollicutes, estes que impedem o desenvolvimento normal do milho, em razão da inibição da translocação de fotoassimilados (JUNQUEIRA et al., 2004).

No Brasil, o primeiro caso de enfezamento no milho ocorreu no começo da década de 70, quando a classificaram como uma doença secundária, que não causava grandes prejuízos à produção, embora tivesse potencial para tal (MASSOLA Jr. et al., 2004; OLIVEIRA, 2020). A princípio, o enfezamento era observado somente nos estados de Minas Gerais, Goiás, Norte de São Paulo e Oeste da Bahia. Porém, nas duas últimas safras houve casos também na região Sul do Brasil. As plantas infectadas por este tipo de patógeno têm internódios mais curtos, menor quantidade de raízes, falhas na granação e redução na produtividade de grãos, quando comparadas com as plantas sadias (HAO & PITRE, 1970; SCOTT, 1977; HRUSKA et al., 1997; MASSOLA Jr. et al., 1999; NEVES, 2018). A intensidade destes efeitos depende do nível de tolerância da cultivar de milho (OLIVEIRA, 2020).

2.3. Patógenos e sintomas de enfezamento do milho

Há dois diferentes tipos de enfezamento: o enfezamento pálido (causado por espiroplasma) e o enfezamento vermelho (ocasionado por fitoplasma) (OLIVEIRA et al., 1998). Geralmente não é possível distinguir estas duas modalidades de enfezamento apenas avaliando sintomas da planta (EMBRAPA & CROPLife, 2020). Há estudos que evidenciam a predominância de infecção por espiroplasma em relação ao fitoplasma (OLIVEIRA et al., 2002; 2015). Contudo, evidência mais recente aponta para mudança na predominância dos patógenos (GALVÃO et al., 2021). No enfezamento pálido, por espiroplasma, as plantas infectadas demonstram estrias cloróticas na nervura central das folhas. Já no enfezamento vermelho, causado por fitoplasma, as plantas infectadas apresentam folhas avermelhadas. Nos dois casos a doença gera a produção de pequenas espigas, sem granação ou com a diminuição dela (MASSOLA Jr et al., 1999; NEVES, 2018; OLIVEIRA, 2020).

Os fitoplasmas e espiroplasmas são bactérias cuja principal característica é a ausência de parede celular e o reduzido tamanho do genoma, com um baixo conteúdo C+G (HOGENHOUT et al., 2008). Estes dois tipos de patógenos foram descobertos por meio de microscopia eletrônica de transmissão. Ambos fazem parte da classe de patógenos denominados mollicutes (MASSOLA Jr. et al., 2004). O grande potencial de dano da cigarrinha deve-se à transmissão dos mollicutes causadores do enfezamento do milho. Mollicutes é um tipo de bactérias sem parede celular que infectam o floema das plantas de milho (GALVÃO et al., 2021), que são somente transmitidos pela cigarrinha do milho. Os patógenos invadem os tecidos do floema do milho e se multiplicam; a cigarrinha ao alimentar da planta infectada, transmite a doença a outras sadias. A infecção ocasionada por mollicutes afeta a plântula de milho em estádios iniciais de desenvolvimento e proliferam nos tecidos do floema, de modo que a planta passa a apresentar os sintomas do enfezamento somente na fase de produção (NAULT, 1980; JUNQUEIRA et al., 2004). Geralmente o inseto-vetor dos mollicutes sobrevive somente na planta do milho e, usualmente, migra de lavouras com plantas adultas para lavouras com plântulas recém emergidas (OLIVEIRA et al., 2002).

Ainda se sabe pouco sobre a estratégia de sobrevivência da cigarrinha, ante o número reduzido de trabalhos que objetivam a compreensão do seu mecanismo de persistência na entressafra, época em que o milho, que é seu principal hospedeiro, não está nas lavouras (OLIVEIRA et al., 2013; OLIVEIRA, 2020). Deve-se procurar

reduzir a população da cigarrinha antes mesmo que ela transmita os mollicutes para as plantas, a fim de controlar a praga e o enfezamento (EMBRAPA & CROPLife, 2020).

As condições propícias do campo, com temperatura entre 31^o C no decorrer do dia e 25^o a noite, costuma acelerar o desenvolvimento patogênico, e a planta apresenta os sintomas próprios da doença, em especial estrias esbranquiçadas. Todavia, é possível que, em certas temperaturas do ambiente, tipo de cultivar e estágio de desenvolvimento, as plantas aparentam estar normais, desprovida de sintomas da doença, o que conduz à conclusão de que o clima propicio ao patógeno é importante para a identificação do mesmo (SILVA, 2017).

Observar os sintomas constitui o primeiro passo para diagnosticar as doenças causadas por fitoplasmas, mas a diagnose precisa ser complementada com a detecção deste procarioto, a fim de demonstrar a associação frequente entre a doença e o agente que há no tecido dos vegetais (OLIVEIRA, 2019). Ressalta-se que, quanto mais cedo acontece a infecção, maior é a proporção dos danos. Geralmente as plantas são infectadas nas fases iniciais da cultura, porém os sintomas aparecem somente na fase de produção, o que dificulta a diferenciação dos dois enfezamentos com base apenas nos sintomas visuais (SILVA, 2017).

Os principais sintomas foliares dos enfezamentos são: descoloração nas margens e na parte apical das folhas; secamento ou avermelhamento, principalmente nas folhas superiores da planta, coloração esta que varia de acordo com o tipo de cultivar de milho; redução no tamanho das espigas; mau enchimento de grãos e grãos “chochos”. Além destes, ainda podem apresentar sintomas como: proliferação de espigas; brotamento nas axilas das folhas; emissão de perfilhos na base das plantas; encurtamento de entrenós acima das espigas; má formação das palhas das espigas; e proliferação de radículas (OLIVEIRA, 2018).

Os sintomas do enfezamento são mais visíveis quando a planta está na fase reprodutiva, em que as lesões variam de tamanho, a depender da resistência do hospedeiro (SILVA, 2017). Nos casos de ataques mais severos, é possível observar os sintomas da doença também na palha das espigas, onde pode gerar a seca prematura das folhas e reduzir o ciclo da planta, o tamanho e o peso dos grãos. A infecção reduz a fotossíntese das folhas, por conta da diminuição na interceptação da radiação, o que ocasiona perda da área foliar fotossintetizante e/ou pela redução da eficiência da radiação interceptada, em virtude de diminuir a taxa fotossintética do

tecido verde remanescente (SILVA, 2017). A infecção precoce pela cigarrinha pode reduzir o crescimento e induzir o aborto das gemas florais, além do potencial de diminuir até 30% da produção.

2.4. Manejo da cigarrinha do milho e enfezamentos

Em razão da severidade dos danos que a cigarrinha do milho infectiva com patógenos do enfezamento causa nas lavouras, é importante buscar seu controle desde os primeiros dias de emergência das plantas, pois a inoculação dos mollicutes precocemente em plantas de milho geram danos mais drásticos (NEVES, 2018; SILVEIRA, 2019). Nas situações em que há risco de epidemia por enfezamentos, a decisão pelo tipo de controle a se adotar começa com o tratamento de semente com inseticidas sistêmicos, seguido de monitoramento da infestação pela cigarrinha com uso de inseticida eficiente de rápida ação se necessário e depois outros tipos de controles, como o cultural, biológico, varietal (ALBUQUERQUE et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2007; NEVES, 2018). No controle químico sempre que possível deve-se utilizar a rotação de produtos de acordo com o mecanismo de ação e grupo químico, no intuito de retardar a seleção resistência aos inseticidas. Resultados de pesquisa mostram que uso de tratamento de sementes com inseticidas neonicotinoides se mostra como uma opção viável para a proteção contra certas pragas e amenização de danos nas fases iniciais do cultivo do milho (OLIVEIRA et al., 2007; NEVES, 2018; ROCHA, et al., 2019).

Todavia, é importante frisar que a aplicação de medidas de controle das pragas requer uma avaliação criteriosa, pois a aplicação indiscriminada e sem a proteção individual pode acarretar danos à saúde dos trabalhadores e também dos consumidores, sem falar nos danos ambientais e na elevação dos custos de produção. O controle da cigarrinha do milho apenas por meio de pulverização sem a escolha correta do inseticida e descuidada se mostra bastante complexo. Mais uma vez, o mais recomendável é uso de inseticidas adequados, de ação rápida em pulverização e sistêmica pelo tratamento das sementes no intuito de alcançar eficiência satisfatória (NEVES, 2018).

Como controle cultural, é possível buscar reduzir a população do inseto vetor por meio da quebra dos ciclos de plantio milho/milho e procurar sincronizar as datas de plantio dos cultivos na região (OLIVEIRA, 2020). Nos últimos anos o manejo da cigarrinha tem sido importante nas lavouras de milho, sob o risco de obter perdas de

até 100% da lavoura, na ausência de manejo (SILVA et al., 2017). O manejo do enfezamento visa principalmente a redução da população inicial de cigarrinhas infectadas. Não existe ainda medida curativa, ou seja, não se tem tratamento para a planta doente. As medidas isoladas de manejo se mostram pouco eficazes para o controle (EMBRAPA & CROPLife, 2020). Frente aos desafios enfrentados, o Manejo Integrado de Pragas se destaca por associar práticas de manejo, com vistas à sustentabilidade e aplicação de técnicas para, não apenas reduzir a densidade populacional das pragas, mas também entendimento sistêmico multidisciplinar do manejo fitossanitário (PINTO, 2021).

2.5. Resistência varietal aos enfezamentos

É escassa a informação quanto à reação dos cultivares de milho à doença (COTA et al., 2018). A utilização de cultivares com resistência genética é considerada importante para controle dos enfezamentos. Além da disponibilidade de fontes de resistência, para o desenvolvimento de cultivares resistentes, é necessário conhecimento acerca da herança da resistência para se realizar a seleção pela utilização de métodos mais eficazes no programa de melhoramento (HALLAUER et al., 2010). O uso de cultivares de milho com resistência genética pode ser uma medida de baixo custo para o produtor e que, ainda, ajuda a preservar o meio ambiente, posto que pode evitar ou reduzir a utilização de produtos químicos fitossanitários.

As pesquisas sobre resistência do milho aos enfezamentos por molicutes costumam ocorrer em condições de campo, com ocorrência de infecção natural. As pesquisas já realizadas indicam que a resistência tem herança genética complexa, que envolve efeitos aditivos e não aditivos (SILVA et al., 2003; SILVEIRA et al., 2008). Todavia, mesmo diante dos diversos relatos de variabilidade genética entre cultivares e trabalhos que mostram a herança da resistência, poucas ainda são as informações acerca da reação à doença para a maior parte dos cultivares disponíveis no mercado. Ademais, alguns híbridos parecem resistir ou tolerar menos os efeitos da doença/cigarrinha do que outros (COTA et al., 2018; OLIVEIRA, 2020). Ainda se desconhece como muito desses modernos híbridos de milho respondem ao ataque do inseto e incidência de enfezamento. Assim, buscou-se neste trabalho selecionar dentre alguns híbridos de milho, aqueles com mais tolerância aos danos causados por enfezamentos e a cigarrinha *D. maidis*.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Condução do trabalho e coleta dos dados

O trabalho foi conduzido em três propriedades rurais no município de Jataí-GO, que possui altitude de 750 m, clima tropical e ocorrência de precipitação de 686 mm durante o cultivo. Os cultivos foram conduzidos como normalmente se faz na região, sem o uso de irrigação e semeados entre o final do mês de janeiro e início de fevereiro na safra de 2020, em propriedades de cultivo comercial. Os escolhidos para os experimentos foram DKB360PRO3, DKB335PRO3, DKB255PRO3, AG8480PRO3, B2401PWU, MG545PWU, MG593PWU, NK555VIP3. Os híbridos foram selecionados porque eram os que mais estavam sendo plantados naquela região e os agricultores avaliavam sua tolerância. Os plantios eram circunvizinhos a plantios de milho verão num raio inferior a 20 km. Foram estudados oito híbridos de milho representativos daqueles plantados na região e no país. Entre os híbridos, havia representantes derivados do germoplasma de diferentes empresas de sementes, entre as quais a Dekalb, Agrocere, Brevant e Morgan. Os híbridos possuíam transgenia para resistência ao herbicida glifosato e para resistência à lagarta do cartucho, incluindo as tecnologias de nome comercial PRO3, PWU e VIP3 (PEREIRA et al., 2018) e foram cultivados sob comparáveis condições de manejo cultural (Tabela 1).

Tabela 1: Descrição dos agroquímicos utilizados no manejo dos cultivos de milho estudados

Propriedade	Descrição do produto	Nome Comercial	Dosagem/ha*	Fase da cultura	
Fazenda 1	Tratamento de sementes	Cropstar**	300 mL	TS	
	Adubação	45:00:00	300 Kg	V2	
	Herbicida	Atrazina	3 L	V2	
		Glifosato	4 L	V2	
		Callisto	200 mL	V4	
		Inseticida	Klorpan**	1 L	V2
		Engeo Pleno**	300 mL	V4	
	Fungicida	Sperto**	300 g	V5 e V8	
		Upmyl**	1,2 L	V5	
		Cipermetrina**	200 mL	R1	
		Abacus	250 mL	V8	
Ativium		800 MI	R1		
Fazenda 2	Tratamento de sementes	Cropstar**	300 mL	TS	
	Adubação	45:00:00	300 Kg	V2	
	Herbicida	Atrazina	4 L	V2	
		Roundup	5 L	V2	
		Callisto	200 mL	V4	
		Inseticida	Klorpan**	1 L	V2
	Fungicida	Exalt**	50 mL	V4	
		Sperto**	300 g	V5 e V8	
		Nativo	700 mL	V8	
	Fazenda 3	Tratamento de sementes	Cropstar**	300 mL	TS
		Adubação	45:00:00	300 Kg	V2
Herbicida		Atrazina	3 L	V2	
		Glifosato	5 L	V2	
		Inseticida	Belt**	100 mL	V2
Fungicida		Connect**	1 L	V5 e V8	
		Nativo	750 mL	V7	
		Fox Xpro	500 mL	VT	

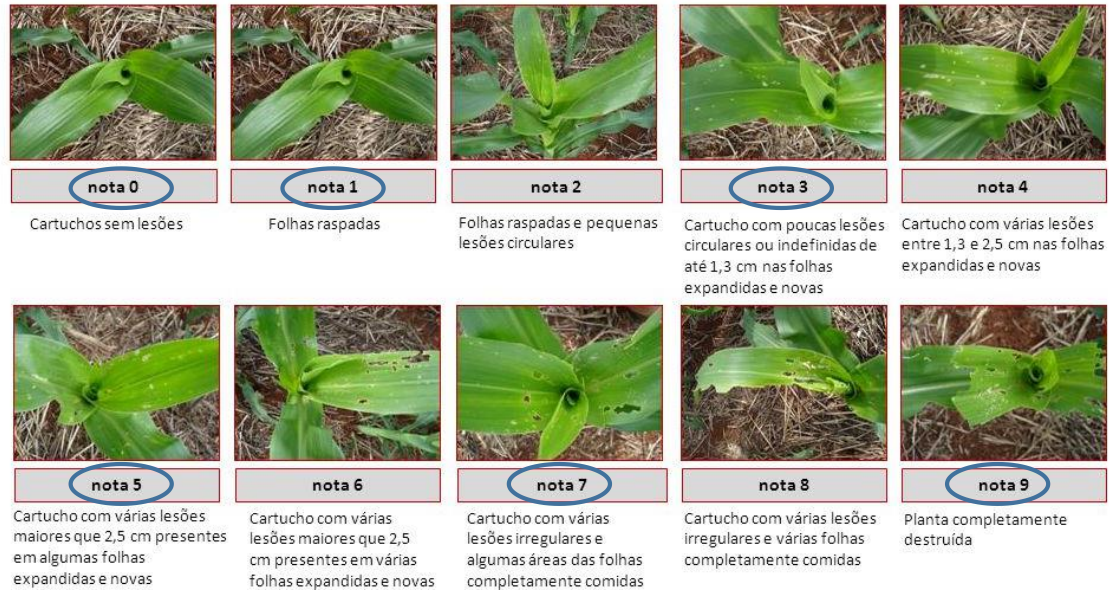
*Dosagem foi expressa em peso ou volume de produto comercial.

**Respectivos princípios ativos dos inseticidas: Belt, flubendiamida; Cipermetrina, cipermetrina; Connect, imidaclopride + beta-ciflutrina; Cropstar, imidaclopride + tiodicarbe; Engeo Pleno, lambda-cialotrina + tiometoxam; Exalt, espinetoram; Klorpan; clorpirifós; Sperto, acetamipride + bifentrina; Upmyl, metomil.

Quando as plantas estavam no estágio fenológico de seis folhas completamente expandidas (V6), foram avaliadas no cartucho das plantas o número de cigarrinhas e a condição de injúria foliar ocasionada pela lagarta do cartucho. A lavoura foi dividida em quatro partes representativas da área. Em cada uma delas, anotou-se em 100 plantas consecutivas o número de cigarrinhas dentre adultos e

ninfas e o grau da injúria foliar, com base na escala Davis, com adaptação para 6 categorias de notas. Salienta-se que foram avaliadas somente em V6 e não ocorreram outras avaliações em virtude da pandemia e as limitações impostas por ela (Figura 1).

Figura 1: Ilustração da escala adaptada de Davis (1989) usada para determinação da injúria foliar pela lagarta do cartucho



No estágio reprodutivo, próximo à maturação fisiológica dos grãos, foi avaliada a incidência de enfezamento, com base na ocorrência dos sintomas mais severos previamente descritos e ilustrados (NEVES, 2018; OLIVEIRA, 2020) (Tabela 2).

Tabela 2: Descrição dos sintomas de enfezamentos disseminados pela cigarrinha *D. maidis* (NEVES, 2018), usados para determinar a incidência nas plantas

Tipo de sintoma	Descrição
1	⇒ Plantas mortas;
2	⇒ Sintomas mais severos que os apresentados pela nota 3 sem desenvolvimento de espigas;
3	⇒ Sintomas severos da doença, plantas com encurtamento de entre nós, desenvolvimento comprometido, proliferação e mal formação de espigas e/ou emissão de brotos laterais;
4	⇒ Encurtamento de entre nós, avermelhamento ou amarelecimento foliar, proliferação de espigas e problemas generalizados no desenvolvimento e formação de espiga;
5	⇒ Planta com coloração avermelhada ou amarelada e encurtamento de entre nós, desenvolvimento mediano das plantas e no final do ciclo as espigas apresentam problemas no desenvolvimento;
6	⇒ Clorose e sintoma de médio retardamento no desenvolvimento das plantas e na formação de espigas;
7	⇒ Cloração foliar (avermelhada ou amarelada) e leve sintoma de retardamento no desenvolvimento das plantas;
8	⇒ Leve coloração (avermelhada ou amarelada) nas folhas, sem prejudicar o desenvolvimento das plantas e das espigas;
9	⇒ Planta imune, sem sintomas.

Por último, foi contabilizada produtividade de grãos na época adequada de colheita. As plantas foram colhidas mecanicamente com colheitadeiras e o peso seco de grãos foi ajustado a umidade de 13% e transformado para os valores de produtividade para saca de 60 kg por hectare.

3.2. Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise estatística, utilizando o software Profix, usando modelos lineares generalizados, procedimento análogo à análise de variância (Proc Glimmix, SAS, 2013). Para cada uma das variáveis respostas usou-se uma adequada distribuição de probabilidade, incluindo a distribuição normal para o número de cigarrinhas por planta, a binária para incidência de enfezamento nas plantas e a multinomial para as notas de injúria foliar. Em caso de significância nos testes de efeito dos híbridos de milho ($P < 0,05$), as diferenças entre eles foram determinadas por teste de contraste. Além disso, análise de correlação de Pearson ou regressão ($P < 0,05$) foi realizada para investigar a relação entre as variáveis em estudo, incluindo a densidade populacional da cigarrinha do milho, incidência de enfezamento e produtividade de grãos de milho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A intensidade de ataque da cigarrinha, a incidência de enfezamentos e a intensidade da lagarta do cartucho nas plantas foram diferentes nos híbridos de milho, como indicam os P valores menores que 0,05 (Tabela 3). A interação entre híbrido e local não foi significativa ($P > 0,05$), indicando que as variáveis estudadas variaram homogeneamente entre os híbridos nas lavouras ou locais avaliados; ou seja, a ordenação dos híbridos quanto à infestação por cigarrinha e injúria lagarta do cartucho e à incidência de enfezamento foi consistente entre os locais onde foram cultivados.

Tabela 3: Resultados dos testes de efeitos fixos nos modelos lineares generalizados utilizados para a análise das variáveis

Variável / Efeito / Valor	Cigarrinha do milho		Enfezamento		Lagarta do cartucho	
	Híbrido	Local	Híbrido	Local	Híbrido	Local
GL Num	7	2	7	2	7	2
GL Den	3990	3990	3990	3990	3987	3987
F	16,46	0,42	22,85	2,05	91,88	0,11
P	<0,01	0,66	<0,01	0,13	<0,01	0,90

GL Num, graus de liberdade do numerador. GL Den, graus de liberdade do denominador.

A densidade populacional da cigarrinha do milho variou entre 11 e 15 insetos por 10 plantas (Figura 2a). Três híbridos de milho tiveram média de 14 cigarrinhas por 10 plantas, enquanto outros cinco híbridos apresentaram média de 12 cigarrinhas por planta (Figura 2a). Essa densidade populacional da cigarrinha é considerada baixa em relação àquela reportada para a região de noroeste de Minas Gerais em 2019. Contudo, os níveis populacionais de *D. maidis* observados no presente estudo alcançaram o limiar de controle do inseto vetor, que tem sido uma cigarrinha por planta ou menos, dependendo da tolerância do híbrido de milho cultivado (OLIVEIRA, 2020).

Waquil (1997), já destacava que, a densidade populacional de 10 cigarrinhas (adultos) por planta de milho pode resultar em uma redução de peso seco da parte aérea do milho de até 40% e até redução de 60% do sistema radicular. Infestações bem menores foram observadas nos trabalhos de Oliveira (2020), o qual encontrou uma média de 1,6 cigarrinhas por planta no verão e 4,5 no inverno.

Para a incidência dos enfezamentos, os híbridos formaram dois grupos. O grupo com menor incidência de sintomas da doença (Figura 2b) foi aquele de mais

alta densidade populacional da cigarrinha (Figura 2a). No mesmo sentido, Oliveira (2020) realizou estudos em que verificou que os sintomas de enfezamento foram mais severos quando a infestação de cigarrinhas fora maior. Em experimento desenvolvido por Silva *et al.* (2003), com o objetivo de identificar o controle genético da resistência aos enfezamentos do milho, constatou-se que os híbridos P3041 e C333B proporcionaram as menores incidências e o genitor C855 apresentou a maior incidência de plantas com sintomas dos enfezamentos. Aqui, no grupo de híbridos de milho com menor incidência de sintomas da doença estão presentes os híbridos AG8480, DKB335 e DKB360, todos com a tecnologia transgênica PRO3. Em geral, a intensidade da injúria pela lagarta do cartucho foi baixa, inferior a nota 3 na escala Davis, sendo que as plantas dos híbridos com a tecnologia PWU ou VIP3 tiveram média das notas próximo a zero, praticamente sem injúria alguma pela lagarta do cartucho (Figura 3c). O nível de controle recomendado com base na escada Davis é de 10–20% das plantas, com notas ≥ 3 , em que se considera 0 - sem dano e 9 - planta quase completamente destruída (IRAC, 2018).

Quanto ao desempenho produtivo de grãos pelos híbridos, os valores variam de 115 a 175 sacas de 60 kg por hectare, que é equivalente a 6900–10500 kg/ha (Figura 3). Esses valores de produtividades são considerados médios a altos e superiores àqueles de alguns híbridos usados na década de 2000 (ARNHOLD *et al.*, 2010). Os híbridos provenientes de germoplasma das empresas Agrocere (AG) e Dekalb (DKB) foram os mais produtivos dentre aqueles avaliados, com destaque para o DKB360, seguido de DKB335, DKB255 e AG8480 (Figura 3). Esses híbridos foram aqueles com menor incidência de enfezamento e podem ser adequados para regiões ou épocas com risco de epidemia da doença.

Em estudo realizado por Arnhold *et al.* (2010), objetivando avaliar a produtividade de híbridos modernos de milho, constatou-se que o rendimento médio de grãos para os híbridos avaliados foi de 5.593 kg ha⁻¹ na análise conjunta. Também verificaram que há diferenças entre híbridos e entre locais, sendo possível encontrar híbridos com rendimento acima de 8.000 kg ha⁻¹, quando maximizadas as variáveis ambiente e cultivar, de modo que, apesar das diferenças evidentes quanto ao rendimento de grãos entre diferentes classes genéticas, não é possível generalizar na recomendação de cultivares.

Não houve relação significativa ($P > 0,05$) entre a densidade populacional da cigarrinha do milho e a produção de grãos (Figura 3a). A produção correlacionou

positivamente ($P < 0,05$) com a intensidade da injúria pela lagarta do cartucho (Figura 3b), isto é, as lavouras que apresentaram plantas com índices mais altos de injúria foliar pela lagarta foram as lavouras que tiveram maior produção de grãos. Isso indica tolerância da planta de milho a certo grau de injúria foliar pela lagarta do cartucho, que nas lavouras avaliadas foi inferior a três na escala Davis. Esse é o limiar de injúria recomendado para considerar que a planta está atacada nas recomendações de tomada de decisão de controle visando manejo de resistência (IRAC, 2018). Isto é, só é considerada planta com injúria significativa aquela com nota igual ou superior a três. Por outro lado, houve correlação negativa entre a porcentagem de incidência de enfezamento nas lavouras e a produtividade delas (Figura 3c). Esse resultado é sugestivo do impacto negativo do enfezamento no desempenho (produção) das plantas. Esse fato é comumente relatado por produtores e profissionais nas lavouras de milho com incidência de enfezamentos.

Nas lavouras aqui estudadas, observou-se uma relação negativa entre densidade populacional da cigarrinha e a incidência de enfezamento (Figura 3d), à semelhança da relação dessa variável com grau de injúria da lagarta do cartucho (Figura 3e). Espera-se correlação positiva da densidade populacional de cigarrinha do milho com os enfezamentos se população do vetor for predominante infectiva. Isso parece ocorrer em poucas situações, conforme relatado em outros estudos que correlacionaram essas variáveis (HAO; PITRE, 1970; HRUSKA; PERALTA, 1997; SILVA et al., 2003). De forma geral, as correlações da Figura 3 são consistentes com a existência de tolerância aos enfezamentos em alguns híbridos. Isso porque as plantas (lavouras) dos híbridos DKB360PRO3, DKB335PRO3, DKB255PRO3 e AG8480PRO3 foram aquelas mais atacadas pela cigarrinha e pela lagarta do cartucho, mas também as mais produtivas (Figuras 2 e 3).

Com relação à transgenia, as plantas de milho com maior grau de injúria pela lagarta do cartucho foram aquelas de híbridos com a tecnologia transgênica PRO3. Essa possibilita às plantas expressão das toxinas de Bt Cry1A.105, Cry2Ab2 e Cry3Bb. As duas primeiras toxinas visam o controle da lagarta do cartucho e a terceira tem como alvo larvas de vaquinhas *Diabrotica* spp. Contudo, sabe-se que indivíduos de muitas populações da lagarta do cartucho são resistentes à toxinas Cry1 e Cry2 (SANTOS-AMAYA et al., 2015, 2016, 2017; SOUSA et al., 2016; TAVARES et al., 2021). No outro extremo, as plantas de milho com menor grau de injúria pela lagarta do cartucho foram aquelas híbridos com a tecnologia transgênica *PowerCore Ultra*

(PWU) ou *Viptera* (VIP3). Enquanto PWU possibilita às plantas expressão das toxinas de Bt Cry1Fa, Cry1A.105, Cry2Ab2 e Vip3Aa20. As plantas VIP3 produzem Cry1Ab e Vip3Aa20. Essa última toxina confere alto grau de resistência à lagarta do cartucho, com mortalidade de quase 100% das larvas, o que ocorre logo após eclosão (PEREIRA et al., 2018; TAVARES et al., 2021), e, por isso, é alto o grau de proteção das plantas contra injúrias das lagartas. Assim, as plantas PRO3 tendem a apresentar injúria da lagarta do cartucho em grau um pouco maior que as PWU e VIP3, ainda insignificante. As plantas PRO3 neste estudo apresentaram maior densidade populacional da cigarrinha do milho e menor incidência de enfezamentos (Figura 2) e com produtividades mais altas (Figura 3). Em conjunto esses resultados, são consistentes e permitem inferir sobre a tolerância delas aos enfezamentos.

Figura 2: Insetos, enfezamento e desempenho produtivo de grãos em híbridos de milho cultivados na segunda safra de 2019/2020 em três locais no sudoeste do estado de Goiás. **A)** Infestação pelo vetor de enfezamentos do milho, a cigarrinha *Dalbulus maidis* e **B)** incidência da doença. **C)** intensidade de injúria pela lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda* e **D)** produtividade em híbridos de milho em cultivos do sudoeste de Goiás. Médias e erros padrões com a mesma linha horizontal não são significativamente diferentes ($P < 0.05$, modelos lineares generalizados)

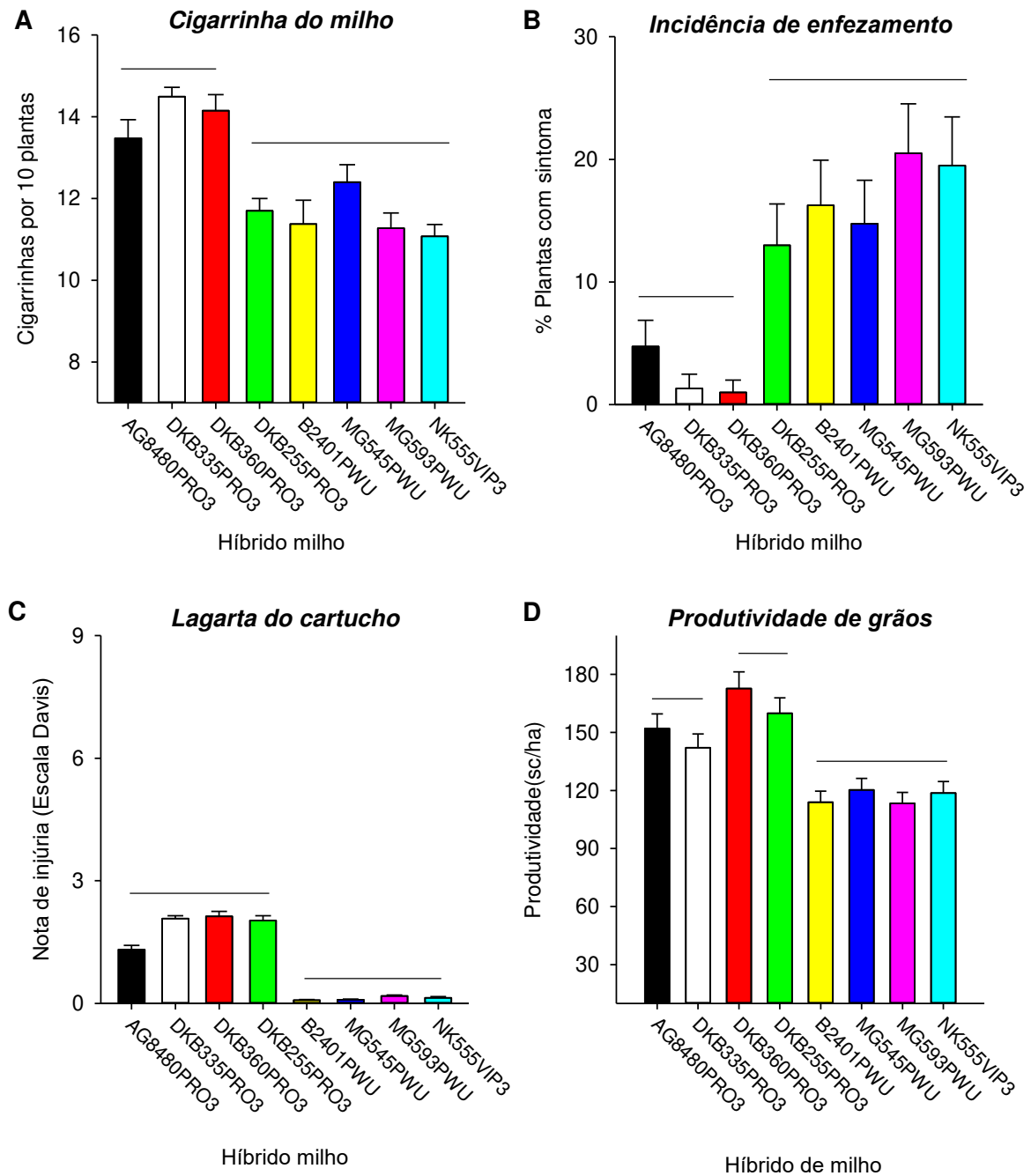
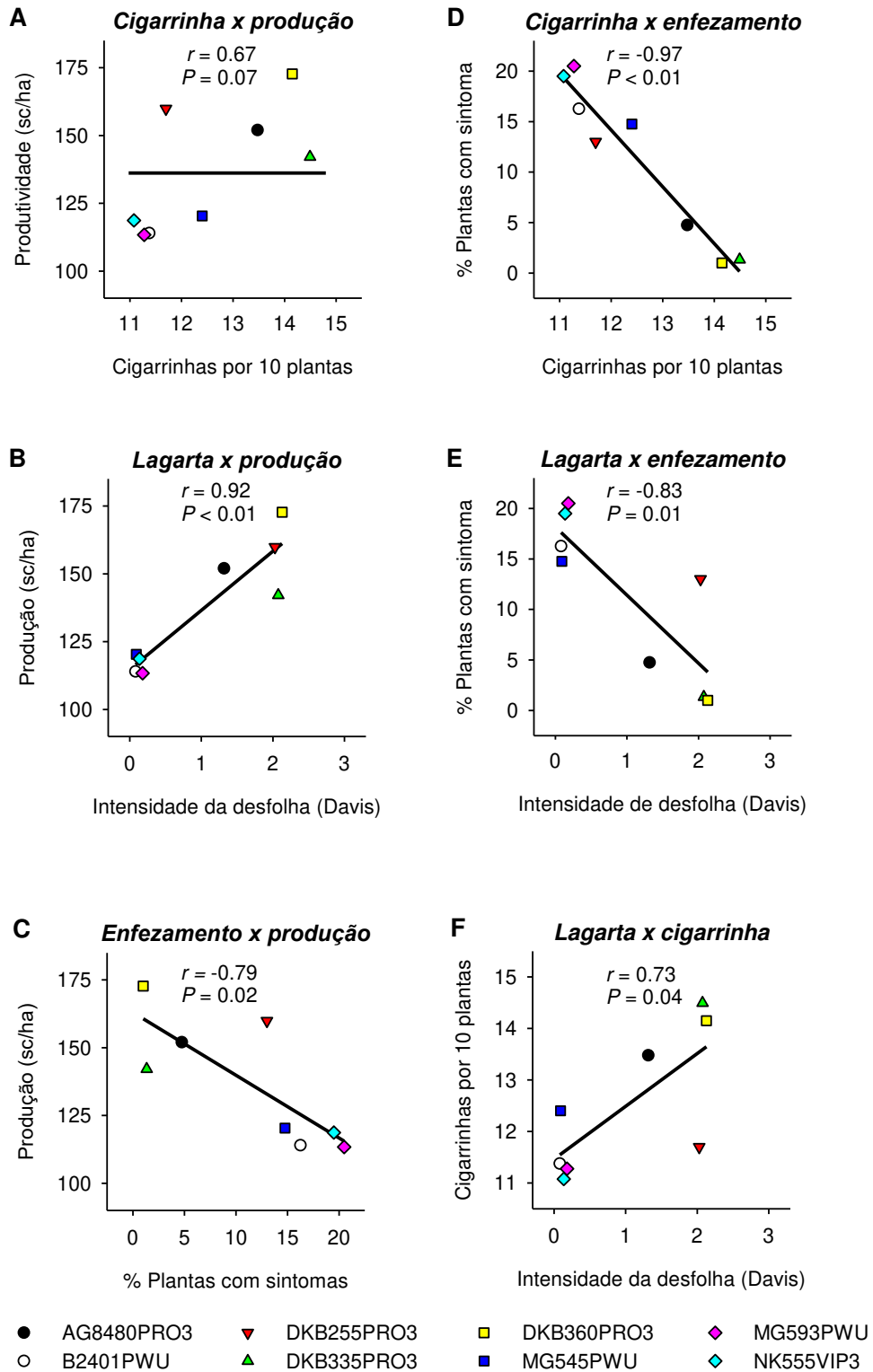


Figura 3: Relação entre o ataque de cigarrinha e de lagarta do cartucho e a produção de milho grão nos cultivos estudados. Mostrado nos painéis estão os valores do coeficiente de correlação de Pearson (r) e valor de probabilidade (P). Os pares de variáveis com coeficientes de correlação positivos e valores P abaixo de 0,05 tendem a aumentar juntos. Para os pares com coeficientes de correlação negativos e valores P abaixo de 0,05, uma variável tende a diminuir enquanto a outra aumenta. Para pares com valores P superiores a 0,05, não há relação significativa entre as duas variáveis



5. CONCLUSÕES

Este trabalho possibilitou o entendimento da tolerância de híbridos de milho aos enfezamentos e os impactos da cigarrinha *Dalbulus maidis* e da lagarta *Spodoptera frugiperda* nesta relação em cultivos comerciais. Mesmo em baixas densidades (até 1,4 cigarrinhas/planta), os patógenos transmitidos pela cigarrinha causam perdas de 30-40 sacas/ha, que equivale 3-4 mil reais. Em baixa intensidade de ataque (até nota 3 na escala Davis), as lagartas de *S. frugiperda* não causam danos às plantas. Os híbridos DKB360PRO3, DKB335PRO3, DKB255PRO3 e AG8480PRO3 são mais tolerantes aos enfezamentos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, F.A.; BORGES, L.M.; IACONO, T.O.; CRUBELATI, N.C.S.; SINGER, A.C. Eficiência de inseticidas aplicados em tratamento de sementes e em pulverização, no controle de pragas iniciais do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.5, n.1, p.15-25, 2006.
- ARNHOLD, E; PACHECO, C. A. P.; CARVALHO, H. W. L. de; SILVA, R. G.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. A. de Produtividade de híbridos de milho em região de fronteira agrícola no nordeste do Maranhão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, p. 468-473, 2010.
- ALVES, E. **Enfezamento vermelho e pálido em milho**. 2015. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/blog/40/enfezamentos-vermelho-e-palido-em-milho>>. Acesso em: 23 ago. 2021.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos – safra 2020/21 (5º Levantamento)**. Brasília: Conab, 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 12 jul. 2021.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção da safra 2020/21 segue como maior da história: 268,9 milhões de toneladas**. nov. 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3691-producao-de-graos-da-safra-2020-21-segue-como-maior-da-historia-268-9-milhoes-de-toneladas>>. Acesso em: 14 jul. 2021.
- COTA, L.V.; COSTA, R.V.; SÁBATO, E.O.; SILVA, D.D. **Histórico e perspectiva das doenças na cultura do milho (2014)**. Espaço do produtor, Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <<https://www2.cead.ufv.br/espacoProdutor/scripts/verArtigo.php?codigo=37&acao=exibir>>. Acesso em: 17 jul 2018.
- DAVIS, F. M.; WILLIMS, W. P.; WISEMAN, B. R. Methods Used to Screen Maize for and to Determine Mechanisms of Resistance to the Southwestern Corn Borer and Fall Armyworm. In: **Proceedings, toward insect resistant maize for the third world**. International symposium on methodologies for developing host plant resistance to maize insects 1989, Mexico. Anais... Mexico
- EMBRAPA – **Produção vegetal e manejo integrado de pragas**. Enfezamento do milho aparece como problema nesta safra. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/21567441/enfezamento-do-milho-aparece-como-problema-nesta-safra>>. Acesso em: 17 jul. 2021.
- EMBRAPA. **Controle da cigarrinha do milho**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/controle-da-cigarrinha-do-milho>>. Acesso em: 13 jul. 2021.
- FAO – Food and Agriculture Organization Statistical Databases (2017). Crops. FAO-Food and **Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://www.fao.org/home/en/>>. Acesso em: 17 jul 2018.
- FRISTCHE NETO, R; MÔRO, G. V. **Escolha do cultivar é determinante e deve considerar toda informação disponível**. *Visão Agrícola*, n. 13, p. 12-15, jul./dez. 2015.
- GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; TROGELLO, E.; FRITSCHE-NETO, R. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. **Revista Ceres**, v. 61, p. 819–828, nov./dez. 2014.
- GASSEN, D. N. **Manejo de pragas associadas à cultura do milho**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 134 p.

- HALLAUER, A.R.; CARENA, M.J.; MIRANDA, J.B.F. **Quantitative genetics in maize breeding**. 3.Ed. Ames: Iowa State University Press, 2010. 664p.
- HAO, G. T. F; PITRE, H. N. Relationship of vector numbers and age of corn plants at inoculation to severity of corn stunt disease. **Journal of Economic Entomology**, v. 63, n. 3, p. 924–927, 1970. DOI: 10.1093/jee/63.3.924.
- HASS, I.C.R. **Potenciais hospedeiros alternativos para o fitoplasma e o espiroplasma, agentes do enfezamento do milho, e alterações bioquímicas em plantas infectadas pelo espiroplasma**. 2010. 73f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Esalq, Piracicaba-SP, 2010.
- HOGENHOUT, S.A., OSHIMA, K., AMMAR, E.D., KAKIZAWA, S., KINGDOM, H.N., NAMBA, S. **Phytoplasmas: Bacteria that manipulate plants and insects**. *Mol. Plant Pathology* 4: 403–423, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2008.00472.x>
- HRUSKA, A. J.; GLADSTONE, S. M.; OBANDO, R.. Epidemic roller coaster: Maize stunt disease in Nicaragua. **American Entomologist**, v. 42, n. 4, p. 248–252, 1996. Disponível em: <<https://academic.oup.com/ae/article/42/4/248/2389532>>. Acesso em: 26 jul. 2021.
- HRUSKA, A. J.; PERALTA, M. G. Maize response to corn leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) infestation and achaparramiento disease. **Journal of Economic Entomology**, v. 90, n. 2, p. 604–610, 1997. DOI: 10.1093/jee/90.2.604.
- IRAC BRASIL. **Manejo da Resistência a Inseticidas e Plantas Bt**. Mogi Mirim: IRAC-BR. Disponível em: <www.iraac-br.org>, 2018.
- JUNQUEIRA, A; BEDENDO, I; PASCHOLATI, S. Biochemical changes in corn plants infected by the maize bushy stunt phytoplasma. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 65, n. 4, p. 181–185, 2004. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/pmpp>.
- KRISHNA, K.R. **Maize Agroecosystem**. Boca Raton: Apple Academic Press, Taylor & Francis Group, 2013.
- MARTINS, G.M.; TOSCANO, L.C.; TOMQUELSKI, G.V.; MARUYAMA, W.I. **Eficiência de inseticidas no controle de *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae) na cultura do milho**. *Caatinga*, v.21, n.4, p.196-200, 2008.
- MASSOLA JÚNIOR, N.S.; BEDENDO, I.P.; AMORIM, L.; LOPES, J.R.S. Quantificação de danos causados pelo enfezamento vermelho e enfezamento pálido do milho em condições de campo. **Fitopatologia Brasileira**, v.24, p.136-142, 1999.
- MASSOLA JÚNIOR, N. S. Enfezamentos vermelho e pálido: Doenças em milho causadas por molicutes. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 22, n. 2, p. 237, 28 fev. 2004.
- NAULT, L. R. Maize bushy stunt and corn stunt: a comparison of disease symptoms, pathogen host ranges, and vectors. **Phytopathology**, v. 70, n. 7, p. 659, 1980.
- NEVES, T. N. C. **Período de suscetibilidade do milho ao enfezamento transmitido por *Dalbulus maidis* e seu controle por tratamento de semente**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, 2018.
- NI, X.; XU, W.; BLANCO, M.H.; WILLIAMS, W.P. Evaluation of fall armyworm resistance in maize germplasm lines using visual leaf injury rating and predator survey. **Insect Science**, 21: 541-555, 2014.

- OLIVEIRA, U. P. **Resistência de genótipos de milho a *Dalbulus maidis* e ao complexo de enfezamentos**. 2020. 85f. Dissertação (Mestrado em Defesa Sanitária Vegetal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020.
- OLIVEIRA, C.M.; OLIVEIRA, E.; CANUTO, M.; CRUZ, I. Controle químico da cigarrinha-do-milho e incidência dos enfezamentos causados por mollicutes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, p.297-303, 2007.
- OLIVEIRA, C.M.; OLIVEIRA, E.; CANUTO, M.; CRUZ, I. Eficiência de inseticidas em tratamento de sementes de milho no controle da cigarrinha *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae) em viveiro telado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.1, p.231-235, 2008.
- OLIVEIRA, C.M.; OLIVEIRA, E.; CRUZ, I.; LOPES, J.R.S. Controle do vetor *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae) através de inseticidas neonicotinoides e seu reflexo na incidência e danos dos enfezamentos do milho em condições de campo. In: **XX Congresso brasileiro de entomologia**, Gramado-RS, 2004.
- OLIVEIRA, C. M.; MOLINA, R. M. S.; ALBRES, R. S.; LOPES, J. R. S. Disseminação de mollicutes do milho a longas distâncias por *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae). **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, n. 1, p. 91–95, fev. 2002.
- OLIVEIRA, C. M.; LOPES, J. R.S.; NAULT, L. R. Survival strategies of *Dalbulus maidis* during maize off-season in Brazil. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 147, n. 2, p. 141–153, 1 maio 2013.
- OLIVEIRA, E.; CARVALHO, R. V. de; DUARTE, A. P.; ANDRADE, R. A. de; RESENDE, R. de O.; OLIVEIRA, C. M. de.; RECCO, P. C. *Mollicutes* e vírus em milho na safrinha e na safra de verão. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 1, n. 2, p. 38–46, 2002.
- OLIVEIRA, E.; TERNES, S.; VILAMIU, R.; LANDAU, E.C.; OLIVEIRA, C.M. Abundance of the insect vector of two different Mollicutes plant pathogens in the vegetative maize cycle. **Phytopathogenic Mollicutes**, v. 5, p. 117-118, 2015.
- OLIVEIRA, E. et al. “Enfezamento pálido” e “enfezamento vermelho” na cultura do milho no Brasil Central. **Fitopatologia Brasileira**, v. 23, n. 1, p. 45–47, 1998.
- OMOTO, C. BERNARDI, O. Estratégias de manejo podem prolongar vida útil das tecnologias de milho Bt. **Visão Agrícola**, a. 9, p. 107/109, jul./dez. 2015. Disponível em: <<https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/Esalq-VA13-Milho.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2021.
- PEREIRA, E. J. G.; RODRIGUES-SILVA, N.; SANTOS-AMAYA, O. F.; RABELO, Marcelo M. Manejo de Resistência de Insetos à tecnologia Bt: conhecer, entender e agir para manter a sua vantagem. **Blog Agronegócio em Foco**, Brasília, p. 1–5, 2018.
- PINTO, M. R. **Cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*) e o complexo dos enfezamentos: características de transmissão, disseminação e controle**. 2021. Universidade Federal de São Carlos.
- RATTES, J.F.; JAKOBY, G.L. **Incidência da cigarrinha-do-milho aumenta rápido (2017)**. Disponível em: <<https://www.portalsyngenta.com.br/direto-do-campo/especialistas/cigarrinha-do-milho-incidencia-da-praga-tem-aumentado-de-forma-rapida>>. Acesso em: 18 jul 2018.
- SABATO, E.O. **Enfezamento do milho: caracterização e aspectos epidemiológicos**. Disponível em: <<http://www.cbfito.com.br/cd/Palestras/Elizabeth.pdf>>. Acesso em: 18 jul 2018.

- SANTOS-AMAYA, O. F.; RODRIGUES, J. V. C.; SOUZA, T. C.; TAVARES, C. S.; CAMPOS, S. O.; GUEDES, R. N. C.; PEREIRA, E. J. G. Resistance to dual-gene Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: Selection, inheritance, and cross-resistance to other transgenic events. **Scientific Reports**, v. 5, n. 1, p. 18243, 2015. DOI: 10.1038/srep18243.
- SANTOS-AMAYA, O. F.; TAVARES, C. S.; RODRIGUES, J. V. C.; SOUZA, T. C.; RODRIGUES-SILVA, N.; GUEDES, R. N. C.; ALVES, A. P.; PEREIRA, E. J. G. Magnitude and allele frequency of Cry1F resistance in field populations of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, v. 110, n. 4, p. 1770–1778, 2017. DOI: 10.1093/jee/tox146.
- SANTOS-AMAYA, O. F.; TAVARES, C. S.; MONTEIRO, H. M.; TEIXEIRA, T. P. M.; GUEDES, R. N. C.; ALVES, A. P.; PEREIRA, E. J. G. Genetic basis of Cry1F resistance in two Brazilian populations of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Crop Protection**, v. 81, p. 154–162, 2016. DOI: 10.1016/j.cropro.2015.12.014.
- SCOTT, G. E.; ROSENKRANZ, E. E.; NELSON, L. R. Yield loss of corn due to corn stunt disease complex. **Agronomy Journal**, v. 69, n. 1, p. 92–94, 1 jan. 1977. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj1977.00021962006900010024x>>. Acesso em: 21 maio 2021.
- SILVA, D.D.; AGUIAR, F.M.; COTA, L.V.; COSTA, R.V.; MENDES, S.M. Molicutes em milho: a diversificação de sistemas de produção pode ser a solução? In: **Novos sistemas de produção**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2017. p. 32–52.
- SILVA, R. G.; GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; OLIVEIRA, E. Controle genético da resistência aos enfezamentos do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n.8, p. 921-928, ago. 2003.
- SILVA, R. G.; GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; OLIVEIRA, E.. Controle genético da resistência aos enfezamentos do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 8, p. 921–928, 2003.
- SILVEIRA, F.; MORO, J.; SILVA, H.; OLIVEIRA, J.; PERECIN, D. Herança da resistência ao enfezamento em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 12, p. 1717–1723, 2008.
- SOUZA, F. F.; MENDES, S. M.; SANTOS-AMAYA, O. F.; ARAÚJO, O. G.; OLIVEIRA, E.; PEREIRA, E. J. G. Life-history traits of *Spodoptera frugiperda* populations exposed to low-dose Bt maize. **PLOS ONE**, v. 11, n. 5, p. e0156608, 2016. DOI: 10.1371/journal.pone.0156608.
- STOUT, M.J. Reevaluating the conceptual framework for applied research on host-plant resistance. **Insect Science** v. 20, p. 263–272, 2013.
- TAVARES, C. S.; SANTOS-AMAYA, O. F.; OLIVEIRA, E. E.; PAULA-MORAES, S. V.; PEREIRA, E. J. G. Facing Bt toxins growing up: Developmental changes of susceptibility to Bt corn hybrids in fall armyworm populations and the implications for resistance management. **Crop Protection**, v. 146, p. 105664, 2021. DOI: 10.1016/j.cropro.2021.105664.
- WAQUIL, J.M.; VIANA, P.A.; CRUZ, I.; SANTOS, J.P. Aspectos da biologia da cigarrinha-do-milho, *Dalbulus maidis* (DeLong & Walcott) (Homoptera: Cicadellidae). **Sociedade Entomológica do Brasil**, v.28, n.3, p.413-420, 1999.
- WAQUIL, J. M. Amostragem e abundância de cigarrinhas e danos de *Dalbulus maidis* (DeLong & Walcott) (Homoptera: Cicadellidae) em plântulas de milho. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 26, n. 1, p. 27–33, 1997. DOI: 10.1590/s0301-80591997000100004.

WAQUIL, J. M. **Cigarrinha – do – milho**: vetor de mollicutes e vírus. 2004. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/1344498/2767891/cigarrinha-do-milho-vetor-de-mollicutes-e-virus.pdf/17d847e1-e4f1-4000-9d4f-7b7a0c720fd0>>. Acesso em: 01 jul. 2021.