

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**EFEITOS DA RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE
MILHO E DA TEMPERATURA NO CONTROLE DE
Sitophilus zeamais MOTSCHULSKY 1885 (COLEOPTERA:
CURCULIONIDAE)**

DIAINE CORTESE

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2024**

Efeitos da resistência de genótipos de milho e da temperatura no controle de *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1885 (Coleoptera: Curculionidae)

DIAINE CORTESE
Bióloga
Mestra em Agronomia

Orientador: PROF. DR. MARCOS GINO FERNANDES

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C828e Cortese, Diaine

Efeitos da resistência de genótipos de milho e da temperatura no controle de *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1885 (Coleoptera: Curculionidae): Efeitos da resistência de genótipos de milho e da temperatura no controle de *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1885 (Coleoptera: Curculionidae) [recurso eletrônico] / Diaine Cortese. -- 2024.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Marcos Gino Fernandes .

Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Resistência de plantas. 2. Grãos armazenados. 3. Armazenamento. 4. Gorgulho-do-milho. 5. Inseto praga. I. Fernandes, Marcos Gino. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

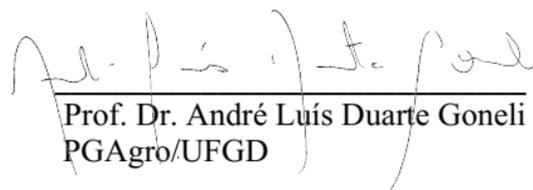
**EFEITOS DA RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE MILHO E DA
TEMPERATURA NO CONTROLE DE *Sitophilus zeamais* MOTSCHULSKY
1885 (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)**

por

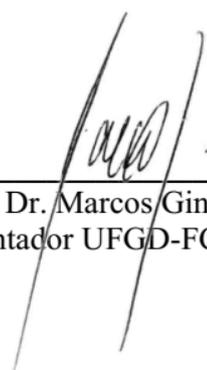
DIAINE CORTESE

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
DOUTORA EM AGRONOMIA

Aprovada em: 08/02/2024



Prof. Dr. André Luís Duarte Goneli
PGAgro/UFGD



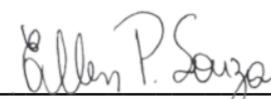
Prof. Dr. Marcos Gino Fernandes
Orientador UFGD-FCBA



Profa. Dra. Klenia Rodrigues Pacheco Sá
UniEvangélica/GO



Dr. Eduardo Neves Costa
PPGECB/UFGD



Dra. Ellen Patrícia Souza
PGAgro/UFGD

AGRADECIMENTOS

À UFGD, pela oportunidade de realizar a Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal.

À CAPES, pela bolsa concedida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcos Gino Fernandes, pela orientação, ensinamentos, auxílio e compreensão.

À minha família, que sempre me incentivou a estudar e seguir minha carreira acadêmica.

Aos meus amigos que me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho: Gisele Silva de Oliveira, na contagem de centenas de insetos; Aylpy Renan Dutra, no quebra cabeça das estatísticas; ao meu primo, Jarlei Cortese que me forneceu os insetos para criação, e aos demais colegas e técnicos de laboratório dos programas de PósGraduação em Agronomia e Zootecnia pelas análises estatísticas e análises químicas dos grãos.

Ao Valter Loeschner, do MAPA, e ao André Jantara da ASPAT, por não medirem esforços em me fornecer as sementes de milho.

E a todos aqueles que aqui não foram citados, porém, que colaboraram com o desenvolvimento deste grandioso e trabalhoso trabalho (tese) de doutorado.

O meu muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	7
ABSTRACT GERAL	8
INTRODUÇÃO	9
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
1. O MILHO (<i>Zea mays</i>)	14
2. ARMAZENAMENTO DE GRÃOS DE MILHO	16
3. <i>Sitophilus zeamais</i>	20
4. CONTROLE DE <i>Sitophilus zeamais</i> EM GRÃOS DE MILHO ARMAZENADO ..	22
5. RESISTÊNCIA DE PLANTAS A INSETOS	27
REFERÊNCIAS	33
CAPÍTULO 1	49
PERMANÊNCIA DA RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE MILHO A <i>Sitophilus zeamais</i> (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)	
RESUMO.....	49
ABSTRACT	49
1. INTRODUÇÃO	50
2. MATERIAL E MÉTODOS	52
3. RESULTADOS	57
4. DISCUSSÃO	65
5. CONCLUSÕES	71
6. REFERÊNCIAS	72
CAPÍTULO 2	76
EFICÁCIA DA TEMPERATURA E DA RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE MILHO NO CONTROLE DE <i>Sitophilus zeamais</i> MOTSCHULSKY 1885 (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) EM CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO	
RESUMO.....	76
ABSTRACT.....	76
1. INTRODUÇÃO	77
2. MATERIAL E MÉTODOS	81
3. RESULTADOS	83
4. DISCUSSÃO	102
5. CONCLUSÕES	107
6. REFERÊNCIAS	108

CORTESE, D. **Efeitos da resistência de genótipos de milho e da temperatura no controle de *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1885 (Coleoptera: Curculionidae).** 2024. 116 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS.

RESUMO GERAL

Sitophilus zeamais (Coleoptera: Curculionidae) é a principal praga de grãos de milho, podendo causar até 20% de perda na produção de milho armazenado. O uso de variedades resistentes e o controle da temperatura são métodos alternativos para o manejo da praga nas unidades armazenadoras. No primeiro capítulo, foram avaliados diferentes genótipos de milho para a resistência a *S. zeamais*, em duas gerações do inseto-praga, em testes com e sem chance de escolha. Os resultados mostraram que os genótipos BR 451 QPM e Al-Bandeirantes apresentaram categorias de resistência por antixenose e antibiose, respectivamente. Ficou evidenciado que as características genéticas dos genótipos investigados têm efeitos sobre características biológicas de *S. zeamais*, ao longo das gerações. Nesta primeira pesquisa, concluímos que é de suma importância avaliar os efeitos de resistência de genótipos em mais de uma geração de insetos, para que se confirme o status de resistência ou suscetibilidade de um genótipo. No segundo capítulo, foram avaliados os efeitos combinados da resistência de grãos e da temperatura no controle de *S. zeamais*. Os resultados mostraram que a temperatura de 15 °C foi eficaz no controle da praga, enquanto temperaturas mais altas favoreceram o desenvolvimento dos insetos e a deterioração dos grãos e proliferação de fungos. Os genótipos Nutricional Embrapa e Asteca Vermelho apresentaram menor número de insetos emergidos e menor perda de massa dos grãos em todas as temperaturas testadas. Nutricional Embrapa também apresentou menor proliferação de fungos e deterioração dos grãos em temperatura de 25°C. Os resultados destes estudos sugerem que a resistência de genótipos de milho e o controle da temperatura são estratégias complementares para o manejo integrado de *S. zeamais*. Sugere-se, assim, o uso de genótipos resistentes e a manutenção de temperaturas baixas em sistemas de armazenamento de milho para reduzir as perdas causadas por *S. zeamais*.

Palavras chave: Resistência de plantas, Gorgulho-do-milho, Grãos armazenados, Armazenamento, Inseto praga.

CORTESE, D. **Effects of resistance of corn genotypes and temperature on the control of *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1885 (Coleoptera: Curculionidae)**. 2024. 116 p. Thesis (Doctorate in Agronomy – Plant Production) – Federal University of Grande Dourados, Dourados, MS.

ABSTRACT: *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) is the main pest of corn grains, which can cause up to 20% loss in stored corn production. The use of resistant varieties and temperature control are alternative methods for managing the pest in stored units. In the first chapter, different corn genotypes were evaluated for resistance to *S. zeamais*, in two generations of the insect pest, in tests with and without choice. The results demonstrated that the BR 451 QPM and Al-Bandeirantes genotypes presented antixenosis and antibiosis resistance categories, respectively. It was evident that the genetic characteristics of the investigated genotypes have effects on the biological characteristics of *S. zeamais*, over generations. In this first research, we concluded that it is extremely important to evaluate the resistance effects of genotypes in more than one generation of insects, in order to confirm the resistance or susceptibility status of a genotype. In the second chapter, the combined effects of grain resistance and temperature on the control of *S. zeamais* were evaluated. The results showed that a temperature of 15 °C was effective in controlling the pest, while higher temperatures favored the development of insects and the exclusion of grains and fungal infection. The Nutricional Embrapa and Azteca Vermelho genotypes showed a lower number of emerged insects and less loss of grain mass at all temperatures tested. Embrapa Nutricional also showed lower fungal allergies and grain restrictions at temperatures of 25°C. The results of these studies suggest that the resistance of corn genotypes and temperature control are complementary strategies to the integrated management of *S. zeamais*. It is therefore suggested to use resistant genotypes and maintain low temperatures in corn storage systems to reduce losses caused by *S. zeamais*.

Keywords: Plant resistance, Corn weevil, Stored grains, Storage, Insect pest.

INTRODUÇÃO

Dentre as *commodities* produzidas no Brasil, destaca-se a produção de milho, *Zea mays* L. (Cyperales: Poaceae). Em 20 anos, a produção de milho cresceu em 193,55% e a área usada para o plantio em 45,79%, sendo que para ano de 2023 a segunda safra de milho ultrapassou a marca de 100 milhões de toneladas (ARTUZO et al., 2019; CONAB, 2023). Cultivado em diferentes regiões do mundo, o milho está entre os principais cereais agrícolas produzidos, sendo considerado como produto estratégico para a segurança alimentar. O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de milho, ficando atrás somente de Estados Unidos e China (CONAB, 2023). A produção é feita em duas safras anuais em grande parte do Brasil, e seu cultivo pode ocorrer nos mais diferentes agrossistemas, o que contribui para mais áreas plantadas, superando a produção ano a ano (BADR et al., 2020). A cultura do milho é a segunda mais produzida no Brasil, ficando atrás somente da produção de soja (CONTINI et al., 2019).

Os principais destinos da produção de milho são as indústrias de ração animal, que incluem a criação de aves e suínos (WANG et al., 2019; ARTUZO et al., 2019). Entretanto, são destinados também para outros fins que incluem consumo humano, indústria de papel, bebidas, colas, corantes, embalagens biodegradáveis, e principalmente na produção de biocombustíveis como o etanol (YANG et al., 2017). Quando usado para alimentação humana é consumido a partir de derivados, mas pode ser consumido in natura. No que diz respeito à importância alimentar, o milho é a terceira cultura alimentar mais importante, depois do arroz e do trigo (PRESTES et al., 2019). Em um cenário mundial, o milho ganha importância como a principal matéria prima para o etanol. Os Estados Unidos são o maior produtor desse biocombustível, refletindo as altas produtividades desse grão, nesse país (DA SILVA et al., 2020).

Grande parte dessa produção nacional é armazenada antes da exportação, e durante o armazenamento ocorrem perdas. As perdas em silos podem ser de dois tipos: a física e a de qualidade (PRESTES et al., 2019). As perdas físicas dos grãos ocorrem por danos causados principalmente por insetos, e as perdas de qualidade estão relacionadas com características intrínsecas, como a ação de fungos, que causam fermentação, modificação organoléptica e redução no valor nutritivo dos grãos (ROCHA et al., 2020). A maior perda de grãos é ocasionada por ataque de insetos

pragas, principalmente em regiões tropicais e subtropicais pelas altas temperaturas e umidade, que favorecem o desenvolvimento de pragas que podem causar perdas de caráter quantitativos e qualitativos (ELIAS et al., 2017).

A temperatura durante a armazenagem é um dos principais fatores que interferem na qualidade dos grãos e sementes armazenados. Baixas temperaturas reduzem a atividade enzimática do processo respiratório, prolongando a viabilidade de sementes, evitando também a proliferação de insetos e patógenos (PARAGINSKI et al., 2015). A grande parte dos insetos-praga de grãos armazenados necessitam de temperaturas altas, na faixa de 27 a 34 °C graus para seu desenvolvimento completo. Entretanto, esse desenvolvimento pode ser retardado ou paralisado, se a temperatura frequentemente ficar abaixo de 16 °C (QUIRINO et al., 2013). Um fator que ajuda no controle da temperatura é a aeração, pois evita o processo respiratório dos grãos mantendo a umidade constante, sem que haja o aumento da temperatura por esses fatores (LORINI et al., 2015). O aumento de temperatura e umidade em uma unidade de armazenamento promovem mudanças nas atividades enzimáticas e desestruturação nos sistemas de membranas celulares, devido à peroxidação lipídica provocada pelo aumento de formas reativas de oxigênio (STEFANELLO et al., 2015).

As principais ordens de insetos pragas em produtos armazenados são Coleoptera e Lepidoptera, as quais podem ocasionar perdas significativas (LORINI et al., 2015). Entre os insetos pragas de grãos armazenados de milho, a espécie *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) destaca-se como a principal. Este inseto é uma praga primária de milho armazenado, ou seja, possui a capacidade de infestar grãos inteiros, o que é ainda é mais preocupante (BOHINC et al., 2020).

As estimativas de perdas causadas por insetos pragas de grãos armazenados podem chegar a 20% da produção total (ACHEAMPONG et al., 2019). As perdas podem ser ainda maiores se o sistema de armazenagem é deficitário, o que é comum em países em desenvolvimento, por exemplo, no continente africano (NAWAZ et al., 2017; HIRUY; GETU, 2018).

O milho é suscetível ao ataque de *S. zeamais* tanto na lavoura quanto no armazenamento, isso devido a capacidade de infestação cruzada desse inseto, ou seja, a infestação dos grãos já ocorre no campo. Quando esses insetos chegam em armazéns,

conseguem condições ótimas de sobrevivência, aumentando assim drasticamente sua população, resultando em perdas de até 50% da produção, o que é bastante alarmante (SULEIMAN et al., 2015; NORAMBUENA et al., 2016). O principal método de controle para *S. zeamais* no Brasil atualmente é através do uso de inseticidas químicos sintéticos, como produtos a base de piretroides e organofosforados usados no tratamento preventivo, e curativo, o uso de fosfina, nos processos de expurgo e fumigação (LORINI et al., 2015; DIAS et al., 2017; PIMENTEL et al., 2019; SIKORSKI; POLTRONIERI; 2022). Entretanto, o controle químico de *S. zeamais* tem perdido sua eficácia, pois tem sido relatado a resistência de insetos por parte destes produtos a mais de dez anos, além dos perigos iminentes como intoxicação dos aplicadores e resíduos nos grãos se não respeitado o tempo de ação (FRAGOSO et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2007; PEREIRA et al., 2009; GUEDES et al., 2010; HADDI et al., 2015).

Apesar do controle químico ainda ser atualmente o método mais utilizado, existem esforços para diminuir o uso destes inseticidas, devido seus malefícios ao ser humano e meio ambiente, perda de eficiência e aumento nos casos de populações resistentes de insetos (PESCHIUTTA et al., 2021). O controle desse inseto praga implica em métodos e medidas a serem tomadas durante a armazenagem como, a limpeza e secagem dos grãos, aeração, controle da temperatura e umidade, expurgo com inseticidas entre outros métodos dentro do manejo integrado de pragas (MIP) e boas práticas de armazenamento (CARVALHO et al., 2017). Além disso, a resistência de plantas tem sido sugerida como alternativa para o controle desses insetos, para diminuir as perdas durante o armazenamento (BADJI et al., 2020; KASOZI et al., 2021). Esse método, além de realizar o controle naturalmente, é compatível com outros métodos de controle (LORINI et al. 2015). Ainda pode contribuir para a diminuição no uso do controle químico convencional. A resistência de plantas pode ser aplicada através do uso de cultivares naturalmente resistentes ou aqueles modificados geneticamente (VISOTTO et al., 2015). As plantas naturalmente resistentes possuem uma combinação genética, que expressam características morfológicas, fisiológicas e também químicas, que possibilitam serem menos atacadas pelos insetos do que outras plantas, em uma comparação com igualdade de condições (SMITH, 2005).

A resistência de plantas a insetos pode ser expressa por três categorias diferentes, sendo essas a antibiose, antixenose e a tolerância (FRANETA et al., 2019).

A resistência de plantas por antibiose é quando um genótipo apresenta na sua constituição alguma característica de origem química, física, ou morfológica que permite que o inseto se alimente da planta hospedeira, porém essa planta exerce efeito adverso sobre a biologia do inseto, (LÓPEZ-CASTILLO et al., 2018). A antixenose, também conhecida como não-preferência, acontece quando uma planta é menos utilizada pelo inseto para sua alimentação, oviposição ou abrigo, que outras plantas em uma igualdade de condições, modificando assim o comportamento do inseto (SMITH, 2005; LÓPEZ-CASTILLO et al., 2018). Essas duas categorias de resistências são as que ocorrem em grãos e sementes de milho armazenados.

Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos na identificação de variedades resistentes ao *S. zeamais* e seus mecanismos de resistência. Algumas substâncias químicas presentes nos grãos de milho foram identificadas como substâncias que estão relacionadas aos efeitos de antibiose a *S. zeamais*, pois afetam diretamente a biologia do inseto. Entre essas substâncias estão fibra bruta, ácido ferúlico, compostos fenólicos, saponinas, aminoácidos não proteicos, terpenóides, alcalóides e fenóis (MAGGIONI et al., 2016; NWOSU, 2016; NGOM et al., 2021; BADJI et al., 2021). Além dessas substâncias, a presença de inibidores enzimáticos como inibidores de amilase, tripsina e proteases afetam diretamente a alimentação de *S. zeamais*, impedindo uma nutrição adequada, uma vez que, esses inibidores enzimáticos impedem a quebra e absorção de substâncias essenciais como amidos e proteínas para os insetos, prejudicando o desenvolvimento do inseto (MARSARO JÚNIOR et al., 2005; NWOSU, 2016; MAGGIONI et al., 2016; BRILINGER et al., 2020). Além das substâncias citadas anteriormente, as diferenças entre os teores e a qualidade de amidos, proteínas e lipídios em grãos de milho podem influenciar na resistência de genótipos de milho a pragas de grãos armazenados (MARSARO JÚNIOR et al., 2008; NWOSU et al., 2015; NHAMUCHO et al., 2017; HIRUY; GUTE 2018; ACHEAMPONG et al., 2019; KASOZI et al., 2021; LANZANOVA et al., 2021).

Os efeitos de antibiose causados por fatores químicos em grãos de milho, são observados nos insetos como, redução do tamanho, peso, fecundidade, alteração da proporção sexual e da longevidade, modificação no tempo e número de ínstaes, aumento da mortalidade entre outros aspectos morfológicos e fisiológicos dos insetos (LÓPEZ-CASTILLO et al., 2018; BRILINGER et al., 2020). Em decorrência da

antibiose esses efeitos podem ser letais e de ocorrência aguda, afetando ovos, pupas, ninfas e adultos (VISOTTO et al., 2015).

Os aspectos físicos como a cor, brilho, dureza, espessura, formato, textura dos grãos de milho podem causar efeitos de antixenose em *S. zeamais*, (RASHID et al., 2021; NGOM et al. 2021). Os efeitos de repelência e deterrência são observados pela mudança no comportamento de *S. zeamais*, quando, em livre escolha, alimentam-se menos de um genótipo em relação a outro, ou ainda, quando fêmeas evitam a oviposição (NGOM et a., 2021; BRILINGER et al., 2021). Foi demonstrado anteriormente que a cor dos grãos de milho é um fator de resistência a infestação de *S. zeamais* (UGAGU et al., 2021; NGOM et al., 2021). Algumas cores predisõem os grãos a infestação de *S. zeamais*, enquanto outras são repelentes (UGAGU et al., 2021; NGOM et al., 2021; NWOSU et al., 2015). Em um estudo pesquisadores sugeriram que o brilho dos grãos de milho de cor branco, possivelmente tem efeito repelente em adultos de *S. zeamais* (NWOSU et al., 2015). Ou ainda, a combinação de cores em uma variedade de milho também parece desinteressar adultos de *S. zeamais* a se alimentarem durante a infestação (NWOSU et al., 2015).

A dureza dos grãos pode ser outro atributo relacionado aos efeitos de antixenose (SULEIMAN et al., 2015). Essa barreira mecânica se dá pela espessura e composição do pericarpo, e pelo formato do grão, podendo dificultar a alimentação de *S. zeamais*. Além disso, as fêmeas no ato da postura precisam escavar profundamente nos grãos para depositar seus ovos; devido a isso, grãos duros podem desinteressar esse comportamento de postura (BRILINGER et al., 2020; DEMISSIE et al., 2015). Com tudo isso, a dureza dos grãos pode diminuir a emergência de *S. zeamais*, tornando o genótipo de milho que apresente essa característica em resistente (THRONE; EUBANKS 2015). A correlação das características morfofísicas dos grãos de milho como fator de resistência ainda não é bem compreendida, pois há vários parâmetros envolvidos na resistência de genótipos de milho, os quais, podem ser químicos e físicos, sendo difícil de encontrar um parâmetro chave (LANZANOVA et al., 2021).

A preocupação com o meio ambiente e mudanças climáticas tem impulsionado a busca de métodos de controle mais amigáveis e de menor impacto; nesse sentido, a resistência de plantas é compatível (LORINI et al., 2015; MIEDANER; JUROSZEK, 2021). A busca de genes em ancestrais de milho que conferem resistência é de suma

importância, pois na ausência de resistência genética, a proteção de cultivos contra insetos pragas depende exclusivamente da aplicação de agroquímicos tóxicos (BISHT et al., 2020). Dessa forma, a busca na identificação de variedades resistentes é importante, pois essas variedades constituem fontes de genes que podem ser usados para o melhoramento genético visando o controle de pragas em armazenamento, efetivando novas medidas de controle (DEMISSIE et al., 2015).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. O MILHO (*Zea mays*)

A produção agrícola cresceu significativamente, e dentre as *commodities* produzidas no Brasil destaca-se o milho. Cultivado em diferentes regiões do mundo, o milho está entre os principais cereais agrícolas produzidos, sendo considerado como produto estratégico para a segurança alimentar (ARTUZO et al., 2019). Para ano de 2023 a segunda safra de milho ultrapassou a marca de 100 milhões de toneladas (CONAB, 2023).

O milho pertence à família Poaceae, e é uma espécie nativa das Américas (SILVA et al., 2021). O centro de origem e diversidade dessa espécie é atribuída ao México, de onde se disseminou por toda a América. Apesar de haver diferentes centros de origem secundários localizados na América do Sul, o ancestral mais antigo do milho, de mais ou menos nove mil anos, foi encontrado no Vale do Tehuacan no México. São muitas as teorias para a origem do milho, porém uma das mais aceitas, considera o teosinto (*Zea mexicana*) como um ancestral selvagem, porém estudos genéticos mostram outros possíveis pontos de origem e domesticação (KISTLER et al., 2018). Com o passar do tempo, essa cultura passou a ser cultivada em outros continentes, expandindo sua produção, devido a grande demanda do consumo alimentar. Atualmente, o milho é um dos principais cereais mais cultivados no mundo, produzindo produtos para a alimentação humana, animal e matéria-prima para as indústrias (MACIEL; TUNES, 2021).

A planta de milho é monocotiledônea, que possui caule tipo colmo formado por entre nós. O sistema radicular fasciculado, com raízes adventícias, auxilia o suporte e absorção dos nutrientes. É uma planta monoica que dispõem de flores femininas, espigas laterais e flores masculinas apicais em uma panícula. (FORNASIERI FILHO, 2007). O período vegetativo varia conforme os fatores climáticos, onde o florescimento acontece em média de 5 a 12 semanas após a semeadura, podendo chegar a 10 meses. Em locais de clima temperado, nos dias longos o florescimento acontece mais tardiamente (BARBANO et al., 2001).

O ciclo dessa cultura varia de 100 a 180 dias. Este período compreende da semeadura a colheita e depende do material cultivado, sendo estes precoces, superprecoce e normal. Durante o desenvolvimento da cultura, ela passa por diferentes estádios fenológicos que vão do vegetativo (V) ao reprodutivo (R). Os estádios vegetativos são VE (emergência), e designados numericamente, por exemplo, em V1, V2, V3, V4 e V (n), que indica a última folha emitida antes do pendoamento (VT), em que, cada um desses estádios é definido de acordo com a formação visível do colar na inserção da bainha da folha no colmo (FORNASIERI FILHO, 2007). Dessa forma, a primeira folha de cima para baixo, com o colar visível, é considerada completamente desenvolvida. Os estádios reprodutivos vão de R1 a R6, e estão intimamente relacionados com a formação da espiga (SILVA et al., 2021).

As safras no Brasil são realizadas durante o verão, que é um período chuvoso, e a segunda safra não possui período pré-fixado, pois muitas vezes depende da colheita da soja para seu plantio, sendo assim chamada de plantio do milho safrinha (KAPPES et al., 2019). O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de milho ficando atrás somente de Estados Unidos e China (CONAB, 2023). Do total da produção brasileira, 75% se destina ao consumo interno, sendo que o restante é exportado (FIESP, 2016). A produção em grande parte do Brasil é feita em duas safras anuais. Essa cadeia reprodutiva do milho ocorre em grande escala devido seu cultivo ocorrer em diferentes agrossistemas (BADR et al., 2020). A cultura do milho é a segunda mais cultivada no Brasil, ficando atrás somente da produção de soja, a qual tem maior área de cultivo (CONTINI et al., 2019).

A produção de milho é destinada principiamente para as indústrias de ração animal, que incluem a criação de aves e suínos (WANG et al., 2019; ARTUZO et al.,

2019). Entretanto, para outros fins é destinado como consumo humano, indústria de papel, bebidas, colas, corantes, embalagens biodegradáveis, e principalmente na produção de biocombustíveis como o etanol (YANG et al., 2017). Quando usado para alimentação humana é consumido a partir de derivados e também in natura. Em relação a importância alimentar o milho, essa é a terceira cultura alimentar mais importante, depois do arroz e do trigo (PRESTES et al., 2019).

Em um cenário mundial, o milho ganha importância como a principal matéria prima para o etanol. Os Estados Unidos são o maior produtor desse biocombustível, refletindo as altas produtividades desse grão, nesse país (DA SILVA et al., 2020). Apesar da cana-de-açúcar render mais em etanol, os Estados Unidos investem em produção de milho, devido aos fatores climáticos e a possibilidade de armazenamento deste grão para a subsequente utilização para tais fins (DUALIBI, 2008). Devido a essa alta produção de milho é necessário investir em qualidade no armazenamento, para que se possa manter a integridade do grão e evitar perdas e conseqüentemente prejuízos econômicos.

2. ARMAZENAMENTO DE GRÃOS DE MILHO

A produção de grãos acontece anualmente, durante determinadas épocas do ano, e devido ao aumento considerável na produção de grãos no Brasil a capacidade estática de armazenagem está sendo impactada. Essa falta de capacidade estática de armazenagem no Brasil impacta diretamente a conservação desses grãos, que muitas vezes, por falta de silos e unidades armazenadoras são armazenados a céu aberto (ROCHA et al., 2018).

Devido a necessidade do uso dos grãos para alimentação e a demanda das agroindústrias, a safra é armazenada durante muito tempo para o uso contínuo dos grãos. Em geral, sementes permanecem armazenadas por mais ou menos seis meses, até serem cultivadas na próxima safra, sendo que grãos podem manter-se por períodos muito maiores, dependendo da demanda (DEUNER et al., 2014).

O armazenamento de grãos é um fator estratégico na expansão agrícola. No entanto, a capacidade estática de armazenagem não tem acompanhado o aumento da produção e produtividade no Brasil (PATINO et al., 2013). A capacidade estática de armazenagem tem um papel fundamental para a comercialização de produtos agrícolas, pois ao se utilizar do processo de armazenagem, o produtor poderá negociar seus produtos em períodos entressafras, com preços mais atrativos, reduzindo os custos diretos e indiretos, os quais, em período de safra em geral são muito altos (SILVA NETO; SANTOS, 2019).

Além das vantagens já citadas, se a capacidade estática de armazenagem fosse maior que a de produção poderia ainda minimizar perdas quantitativas e qualitativas. Proporcionaria a fuga dos gargalos logísticos e evitaria o processamento prévio e inadequado da safra por não haver locais apropriados para armazenar a produção. Contribuiria com a preservação da qualidade do produto, não sofrendo com a redução em virtude do pré-processamento (ROCHA et al., 2018). De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), um país precisa possuir capacidade estática de 20% acima da produção da safra. Apesar dos esforços nos últimos anos para aumentar a capacidade estática de armazenagem no Brasil, ainda não suprimimos essa dificuldade, que não acompanha a evolução da agricultura, que é favorecida por avanços tecnológicos, expansão das áreas de plantio e investimento na produtividade (OIVEIRA et al., 2020).

Puzzi (2000) afirma que a armazenagem de grãos é todo aparelhamento destinado ao recebimento de grãos, a fim de, conservá-los em perfeitas condições técnicas, para distribuição, garantindo o impulso na produção agrícola, consumo, estabilidade dos preços e abastecimento normal. O objetivo de uma unidade armazenadora de grãos é de modo geral, preservar a qualidade de produtos agrícolas, conservando-os para o consumo e garantir a segurança dos alimentos (CARVALHO et al., 2017).

Devido as entressafras, os grãos precisam ser armazenados de um ano para o outro, preservando a qualidade dos grãos ao longo desses períodos de tempo, com a finalidade de suprir as demandas, pois em condições não favoráveis, os grãos ficam suscetíveis à deterioração e contaminações. Para uma armazenagem correta ao longo do

tempo, é necessário adotar corretamente as práticas de colheita, limpeza, combate de insetos e prevenção de fungos e bactérias (LORINI et al., 2015).

O sucesso da armazenagem depende da qualidade das sementes, conferida pelo genótipo, tipo de grão, estágio de maturação no qual foi realizado a colheita, viabilidade, teor de água inicial dos grãos e tratamento dos grãos antes da estocagem, visto que estas e demais características são preservadas durante as condições favoráveis de armazenagem (SENAR, 2018), pois os grãos estão sujeitos a alterações químicas e físicas, que acarretam mudanças em seus valores nutricionais. Para diminuir as perdas de grãos, torna-se necessário a adoção de boas práticas de armazenamento, as quais podem ser implementadas em todas as etapas da produção agrícola (DIAS et al., 2020).

A massa de grãos pode sofrer deterioração, e esta é oriunda da interação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas. O grau dessa deterioração será determinado pela taxa de aumento dessas variáveis, principalmente pela interação temperatura e umidade (DIAS et al., 2020). A determinação da umidade nos grãos é um parâmetro importante, pois o teor de água nos grãos influencia no armazenamento e comercialização do produto. Grãos com valores próximos a 17,9% de umidade perdem até quatro vezes mais matéria seca do que grãos com 14,8% de teor de água (DÜRK et al., 2019). A temperatura durante a armazenagem é um dos principais fatores que interferem na qualidade dos grãos e sementes armazenados. Baixas temperaturas reduzem a atividade enzimática do processo respiratório, prolongando a viabilidade de sementes, evitando também a proliferação de insetos e patógenos (PARAGINSKI et al., 2015). A grande parte dos insetos-praga de grãos armazenados necessitam de temperaturas altas, na faixa de 27 a 34 °C graus para seu desenvolvimento completo. Entretanto, esse desenvolvimento pode ser retardado ou paralisado, se a temperatura frequentemente ficar abaixo de 16 °C (QUIRINO et al., 2013). Um fator que ajuda no controle da temperatura é a aeração, pois evita o processo respiratório dos grãos mantendo a umidade constante, sem que haja o aumento da temperatura por esses fatores (LORINI et al., 2015). O aumento de temperatura e umidade em uma unidade de armazenamento promovem mudanças nas atividades enzimáticas e desestruturação nos sistemas de membranas celulares, devido à peroxidação lipídica provocada pelo aumento de formas reativas de oxigênio (STEFANELLO et al., 2015).

O armazenamento é dividido em dois tipos, sendo o convencional onde os grãos são armazenados em sacarias em armazéns e o em a granel, que armazena em silos graneleiros (ROCHA et al., 2020). Os silos são construções destinadas para o armazenamento e conservação dos grãos secos e sementes e forragens verdes. Estes são construídos normalmente de alumínio ou aço e de alvenaria ou concreto. A construção destes silos é extremamente cara, o que dificulta a aquisição pelos agricultores, o que os leva, ao aluguel de silos grandes de grandes cooperativas para estocar seus produtos, fazendo com que reduza a renda dos produtores rurais (NEIDECK, et al., 2020).

Essas estruturas possuem a capacidade de armazenar aproximadamente 35.000 a 150.000 toneladas, sendo divididos em células para a estocagem de mais de um tipo de cereal. Os silos metálicos destinam-se a grandes quantidades de armazenagem variando de 18.000 a 35.000 mil toneladas de grãos (SILVA, 2010). Também é feita armazenagem nas fazendas, porém nestas não se é muito comum devido a falta de tecnologias que proporcionem uma adequada armazenagem (VIEBRANTZ et al., 2016). A inadequação da armazenagem pode acarretar uma perda de 25% do total dos produtos estocados, devido ao ataque de roedores, insetos e microrganismos (SILVA et al., 2008).

As perdas em silos podem ser de dois tipos: a física e a de qualidade. As perdas físicas dos grãos ocorrem por danos causados principalmente por insetos, enquanto as perdas de qualidade estão relacionadas com características intrínsecas, como a ação de fungos, que causam fermentação, modificação organoléptica e redução no valor nutritivo dos grãos (PRESTES et al., 2019; ROCHA et al., 2020). A maior perda de grãos é ocasionada por ataque de insetos-pragas, principalmente em regiões tropicais e subtropicais pelas altas temperaturas e umidade, que favorecem o desenvolvimento de pragas que podem ocasionar perdas quantitativas e qualitativas (ELIAS et al., 2017). As temperaturas ideais para insetos pragas de grãos armazenados está entre 27 °C a 34 °C, temperaturas essas que muitas das vezes ocorrem em locais de armazenagem sem sistema de resfriamento (QUIRINO et al., 2013).

As principais ordens de insetos-pragas em produtos armazenados são Coleoptera e Lepidoptera, os quais podem ocasionar perdas significativas. Dentro da ordem Coleoptera alguns exemplos são, sendo principal *Sitophilus zeamais*, *Sitophilus oryzae*, *Prostephanus truncatus*, *Tribolium castaneum*, *Rhyzopertha dominica*, mas para ordem

Lepidoptera a principal, *Sitotroga cerearella*, esses são responsáveis pela maior parte das perdas (LORINI et al., 2015).

O controle dessas pragas implica em métodos e medidas a serem tomadas como a limpeza e secagem dos grãos, aeração, controle da temperatura e umidade, expurgo com inseticidas, entre outros métodos dentro do Manejo Integrado de Pragas (MIP) e boas práticas de armazenamento (CARVALHO et al., 2017). Entretanto, a resistência de plantas tem sido sugerida como alternativa para o controle desses insetos, para diminuir as perdas durante o armazenamento (BADJI et al., 2020; KASOZI et al., 2021).

3. *Sitophilus zeamais*

O gorgulho do milho, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), (Coleoptera: Curculionidae) é uma das principais pragas de grãos armazenados, sendo está uma praga primária de milho armazenado (BOHINC et al., 2020). Há evidências de que esse coleóptero tenha sua origem na Índia, porém é encontrado em regiões tropicais e subtropicais de todo o mundo (DEMISSIE et al., 2015; MACULOSO et al., 2022). Esse inseto encontra-se amplamente difundido no Brasil, possuindo uma ampla gama de hospedeiros, como milho, arroz, trigo, cevada, aveia (FRAZÃO et al., 2018).

As estimativas de perdas causadas por insetos pragas de grãos armazenados podem chegar a 20% da produção total (ACHEAMPONG et al., 2019), na qual *S. zeamais* é um dos principais agentes causais dessa perda na produção em grãos de milho. As perdas podem ser ainda maiores se o sistema de armazenagem é deficitário, o que é comum em países em desenvolvimento, por exemplo em países da África (NAWAZ et al., 2017; HIRUY; GETU, 2018). O milho é suscetível ao ataque desse inseto tanto na lavoura quanto no armazenamento, devido a capacidade de infestação cruzada, ou seja, a infestação dos grãos já ocorre no campo. Quando essas pragas chegam em armazéns, conseguem condições ótimas de sobrevivência, aumentando assim drasticamente sua população, resultando em perdas de até 50% da produção, o que é bastante alarmante (SULEIMAN et al., 2015; NORAMBUENA et al., 2016).

Os insetos adultos desta espécie medem de 2,0 mm a 3,5 mm de comprimento, apresentam coloração castanho-escuro, com quatro manchas mais claras avermelhadas pálidas nos élitros (LORINI et al., 2015). Como característica da família Curculionidae, a cabeça é projetada para frente, na forma de rostró curvado, sendo que, através desta característica é possível realizar a diferenciação de machos e fêmeas de *S. zeamais* (HONG et al., 2018). Nos machos, o rostró é mais curto e grosso, diferente das fêmeas que são mais longos e afilados (DEVI et al., 2017). A longevidade de fêmeas de *S. zeamais* é maior que as dos machos, entretanto, a longevidade dessa espécie é também influenciada pelo grão ou genótipo no qual o inseto se desenvolve (DEVI et al., 2017; CORTESE; ANDRADE, 2022).

O gorgulho apresenta aparelho bucal mastigador, o que permite a alimentação e a postura da fêmea internamente nos grãos (BARROS et al., 2022). Apresenta um elevado potencial biótico, ou seja, tem a capacidade de penetrar em grandes profundidades na massa de grãos e deixar um grande número de descendentes em um curto período de tempo (LORINI et al., 2015; FRAZÃO et al., 2018). As fêmeas escavam orifícios para realizar a postura individualmente nos grãos, e, em seguida, secretam uma substância gelatinosa para fechar a cavidade (HONG et al., 2018). No milho, esses insetos apresentam um período de incubação de 3 a 6 dias, podendo oscilar esse período (OJO; OMOLOYE, 2016; DEVI et al., 2017).

As larvas são curculioniformes de coloração amarelo-claro, com cabeça mais escura, e as pupas brancas. Em grãos de milho as larvas, ao eclodirem, completam seu desenvolvimento dentro dos grãos, passando por quatro ínstaes os quais levam aproximadamente 5,8, 7,0, 8,4 e 7,5 dias, respectivamente, porém, a duração de cada ínstar pode variar dependendo do grão hospedeiro (DEVI et al., 2017; LE et al., 2018). Geralmente, no grão, uma única larva se torna adulto, mais pode acontecer de mais de um inseto se desenvolver em um único grão (DANHO; HAUBRUGE, 2019). Após a fase larval, o inseto se torna pupa que inicialmente tem coloração branca e com o passar dos dias começa a ficar marrom escuro, permanecendo nessa fase por aproximadamente sete dias. O ciclo biológico é finalizado com a emergência do adulto, que sai dos grãos (DEVI et al., 2017).

O período de oviposição de uma fêmea é de 104 dias, com uma fecundidade média de 282 ovos por fêmea (LORINI et al., 2010). O ciclo biológico de ovo a adulto é

de aproximadamente 34 dias, ao passo que a longevidade da fêmea pode chegar a 140 dias, e a machos a 142 dias (OJO, OMOLOYE, 2016). As espécies do gênero *Sitophilus* spp. apresentam características muito semelhantes. A diferenciação de *S. zeamais* e *Sitophilus oryzae* é feita visualmente por lupa através de pontuações no pronoto, entre outras características morfológicas. Porém, para uma segura confirmação, é realizado a identificação através do estudo da genitália por microscópio (HONG et al., 2018). Quando há grandes populações desse inseto na massa de grãos alimentando-se, ocorre um aumento na respiração dos grãos, aumentando-se, assim, a temperatura e conseqüentemente a umidade do ambiente, propiciando a proliferação de fungos (PINTO et al., 2002). Quanto maior o número de insetos e o tempo desses na massa de grãos, maiores serão as perdas de peso dos grãos (MAGGIONI et al., 2016; CORTESE; ANDRADE 2022).

As perdas ocasionadas pelo ataque de larvas e adultos dessa espécie podem levar a redução no teor de massa seca dos grãos, desvalorização do valor comercial e nutricional do produto, perda do poder germinativo das sementes, e contaminação por fungos e bactérias (NGOM et al., 2021). Além disso, a presença do próprio inseto no lote leva a condenação do mesmo, seguindo então para o consumo animal (MIKAMI et al., 2012;). Quanto maior o período de armazenamento do milho com a presença do *S. zeamais*, maiores serão as perdas sofridas pelos grãos e maior será a quantidade de grãos afetados (ANTUNES et al., 2011). Desse modo é primordial o controle dessa praga, para manter a qualidade de grãos e sementes sem prejuízos maiores.

4. CONTROLE DE *Sitophilus zeamais* EM GRÃOS DE MILHO ARMAZENADO

A proteção dos grãos de milho durante o armazenamento é a etapa fundamental para a prevenção de perdas, ocasionados principalmente por insetos pragas (SIKORSKI; POLTRONIERI; 2022). O controle desses insetos muitas das vezes se inicia ainda sem a presença do mesmo, através do uso de inseticidas químicos sintéticos de prevenção, chamados de inseticidas protetores, que podem ser de origem natural, entretanto o mais utilizado atualmente são os inseticidas químicos sintéticos. Este método é usado em

armazenagens acima de 90 dias (LORINI et al., 2015). O monitoramento é outra ferramenta para detectar a presença de insetos pragas e ligeiramente realizar o controle, evitando assim maiores prejuízos econômicos. Essa prática assume um papel importante, pois dificilmente o controle após o estabelecimento de uma população de insetos na armazenagem será feita com eficácia (ZHANG et al., 2020).

São muitas as estratégias para o controle de insetos pragas durante a armazenagem de grãos, entre elas controle químico, controle ecológico, microbiano, cultivares resistentes, períodos de armazenagem, temperatura e umidade relativa. Entretanto, o controle químico ainda é o mais utilizado (HAGSTRUM; PHILLIPS, 2017). Contudo, é necessário levar em consideração a estratégia a ser utilizada para que seja atendido os parâmetros técnicos quanto à eficácia, respeitando o meio ambiente, o ser humano e animais, fatores econômicos e sociais (MEENA et al., 2020; HASSAAN; EL NEMR, 2020; KUMAR et al., 2021).

Existem diferentes métodos utilizados no controle de insetos pragas de grãos armazenados, e entre eles estão os físicos, que consistem em resfriamento artificial, controle de umidade e temperatura, uso de radiação, aplicação de terra de diatomácea e atmosfera controlada (LORINI et al., 2015). O método mais utilizado e com maior eficiência atualmente é o controle químico; este método utiliza-se de inseticidas químicos sintéticos preventivos e curativos. Por fim, pode ser usado o controle biológico com inimigos naturais, porém esse não é muito usado em armazenamento de grãos uma vez que os grãos são destinados ao consumo humano, não podendo assim conter resíduos de insetos ou outros microrganismos (PIMENTEL et al., 2019).

Um das mais importantes pragas de grãos armazenados de milho, a qual alimenta-se de grãos íntegros é *S. zeamais*. Essa espécie é a principal praga do milho, porém é uma espécie polífaga, que pode infestar os grãos ainda na lavoura, antes da colheita (FRAZÃO et al., 2018; BOHINC et al., 2018). O principal método de controle para *S. zeamais* no Brasil, hoje, é através do uso de inseticidas químicos sintéticos, como piretroides e organofosforados usados no tratamento preventivo e para o tratamento curativo; o uso de fosfina é feito para os processos de expurgo ou fumigação (LORINI et al., 2015; DIAS et al., 2017; PIMENTEL et al., 2019; SIKORSKI; POLTRONIERI; 2022). O controle químico de *S. zeamais* é eficaz e de rápida ação, porém esses inseticidas podem causar intoxicação aos aplicadores, formação de

populações de insetos resistentes, e resíduos nos grãos se não respeitado o tempo de ação (FRAGOSO et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2007; PEREIRA et al., 2009; GUEDES et al., 2010; HADDI et al., 2015).

Para o tratamento preventivo deve ser realizado o uso de inseticidas químicos de formulações líquidas (LORINI et al., 2015). Após os grãos passarem por uma limpeza, secagem e expurgo, devem ser armazenados em locais apropriados e higienizados, em períodos de tempos variáveis, que podem perdurar por meses até a destinação de uso, e para isso realiza-se o tratamento preventivo, para a proteção dos grãos (LORINI et al., 2010; LORINI, 2012). Alguns ingredientes ativos conhecidos no controle de *S. zeamais* em milho são bifentrina, fenitrotona e pirimifós-metílico, que estão registrados no Ministério da Agricultura. Os demais produtos registrados, em seis formulações comerciais a base de fosfeto de alumínio e magnésio são para uso na forma de expurgo (DOS SANTOS et al., 2009).

O tratamento curativo se dá através da técnica de expurgo ou fumigação para eliminar pragas infestando grãos armazenados mediante o uso de gás (LORINI, et al., 2013). O expurgo deve ser realizado sempre que houver infestação no lote, silo ou armazém. Esse processo pode ser realizado nos mais diferentes locais, desde que seja feito uma vedação adequada seguindo as normas de segurança para os produtos em uso (LORINI et al., 2011). O gás liberado ou introduzido no interior do lote de sementes deve ficar nesse ambiente em concentração letal para as pragas (LORINI et al., 2010; LORINI et al., 2015).

O gás usado é a fosfina, o qual é altamente tóxico, liberado na presença da umidade do ar, proveniente de fosfeto de alumínio ou de magnésio (LORINI et al. 2011). Este biocida é eficaz no controle de todas as fases (ovo, larva, pupa e adulto) de *S. zeamais* (LORINI et al., 2013). Este é um dos produtos muito utilizados pelas unidades de armazenamento, entretanto, seu uso indevido levou a resistência de populações (LIAO et al., 2022; WAKIL et al., 2021). Os métodos químicos são ainda os mais utilizados pela eficiência e período residual com formulações disponíveis comercialmente.

Apesar do controle químico ainda ser o método mais utilizado, existem esforços para diminuir o uso destes inseticidas, devido seus malefícios ao ser humano e ao meio

ambiente, perda de eficiência e aumento nos casos de populações resistentes de insetos (PESCHIUTTA et al., 2021). Em relação a isso, cientistas e pesquisadores somam esforços para realizar novas pesquisas com diferentes métodos, como é o caso do uso de extratos botânicos e seus óleos essenciais para o controle de insetos pragas de grãos armazenados. Muitos são os trabalhos que testaram extratos botânicos e óleos essenciais para o controle de *S. zeamais* em grãos armazenados (OPIYO, 2020; ILEKE et al., 2020; WENNECK et al., 2020; PATIÑO-BAYONA et al., 2021; PESCHIUTTA et al., 2021; GITAHÍ et al., 2021; GARIBA et al., 2021; BARROS et al., 2022).

Estudos recentes mostraram que extratos vegetais e óleos essenciais das mais diversas famílias de plantas podem ser usados como repelentes a *S. zeamais* ou apresentam potencial para diminuir a emergência de *S. zeamais* em grãos de milho, podendo assim serem usados como protetores de grãos (CORTESE et al., 2022; PERERA et al., 2022; WANNA et al., 2022).

São importantes os estudos e o uso de inseticidas naturais produzidos através de extratos e óleos de plantas, pois possuem menor probabilidade de resistência e não deixam resíduos químicos nos grãos (DA SILVA et al., 2013). Além disso, não apresentam efeito acumulativo no ambiente, não prejudicam seres humanos e animais, são compatíveis com outros métodos de controle, de fácil aplicação, baixo custo e de fácil acesso, pois os agricultores podem produzi-lo em casa (LENGAI et al., 2020; MEENA et al., 2020; KUMAR et al., 2021). Apesar de existirem muitos estudos com óleos essenciais e extratos botânicos para o controle de insetos pragas de grãos armazenados, muitos se limitam a ensaios de laboratórios, com pouca aplicabilidade para uso comercial. Dessa forma, é realizar estudos mais aprofundados quanto ao uso e sua segurança alimentar, para que então seja feito o uso e fabricação destes produtos comercialmente.

Para o controle de *S. zeamais* tem-se investigado o controle de fatores físicos do armazenamento como a temperatura e a umidade, pois estes fatores estão intimamente relacionados com a conservação da qualidade dos grãos ao longo do tempo de armazenamento (CORADI et al., 2020; DOMIN et al., 2020; CARVALHO et al., 2019; ZHANG et al., 2020). Estudos realizados têm mostrado que baixas temperaturas por um período prolongado e uma baixa umidade podem causar quase 100% de mortalidade de *S. zeamais* em grãos armazenados (MARPAUNG, 2021; GOLIC' et al., 2021). Em um

outro estudo, verificaram que o uso de radiofrequência para o aquecimento de grãos de milho branco, em uma temperatura acima de 50°C por três minutos, causou 100% de mortalidade de *S. zeamais*, e ainda como vantagem a viabilidade e germinação dos grãos não foram afetados (RAMÍREZ-ROJAS et al., 2020).

Em busca de novos métodos para o controle de *S. zeamais*, as modificações gasosas da atmosfera em estruturas e recipientes de grãos tem se mostrado eficaz (CHIGOVERAH; MVUMI, 2020). Em um estudo revelaram que concentrações de dióxido de carbono (CO₂) de 70% ou uma baixa concentração de oxigênio (O₂) de 0,1% causaram 100% de mortalidade de *S. zeamais* após uma exposição de no mínimo seis dias (VASSILAKOS et al., 2019). O método de atmosfera controlada com dióxido de carbono (CO₂) é ecologicamente correto, método esse que não utiliza gases tóxicos e não deixa resíduos, além disso essa técnica não causa resistência na população de insetos, sendo eficaz no controle dos insetos em todas suas fases como ovos, larvas, pupas e adultos (RAO; SATYANARAYANA, 2020).

Além de dióxido de carbono (CO₂) e oxigênio (O₂), a aplicação de nitrogênio (N₂) para o controle de *S. zeamais* também é feito. A adição desse gás é feita em um determinado volume de ar para reduzir a porcentagem de oxigênio, e assim possibilitar o controle de insetos em seus diferentes estágios de vida (ATHANASSIOU; SAKKA, 2022). Além desses gases, muitos outros vêm sendo testados para o controle de *S. zeamais*. O uso de gás ozônio (O₃) injetado em baixa pressão foi testado para o controle de *S. zeamais*, e certificaram-se que o ozônio aplicado em sistema de baixa pressão a 13,0 mg L⁻¹ controlou 94,45% do *S. zeamais* na massa de grãos. Além disso, a injeção de gás ozônio em baixa pressão não alterou o volume de expansão, teor de umidade e condutividade elétrica dos grãos de milho pipoca (SILVA et al., 2021).

Outro método alternativo que possibilita o controle eficaz de *S. zeamais* e assim possibilita a redução no uso de inseticidas químicos sintéticos em unidades armazenadoras é a terra de diatomácea (RIBEIRO et al., 2019; SALIM et al., 2020). As diatomáceas são algas unicelulares compostas principalmente de dióxido de silício (ADARKWAH et al., 2022). A terra de diatomácea é um pó inerte que se origina da fossilização de diatomáceas. Esse pó adere no corpo do inseto conforme sua movimentação na massa de grãos, e assim absorve as ceras cuticulares causando a morte dos insetos adultos e larvas por dessecação, ou ainda efeitos abrasivos no trato

digestivo. Além disso, podem obstruir os espiráculos resultando em sufocamento (FREITAS et al., 2020). Esse produto apresenta baixa ou quase nenhum efeito em mamíferos, e ainda podem ser facilmente removidos dos grãos durante o processamento (CINIVIZ; MUTLU, 2020).

Produtos comerciais a base de terra de diatomáceas já são vendidos para o controle de pragas em grãos armazenados, e existem relatos que esses produtos têm efeito inseticida em mais de quinze pragas de grãos armazenados (WILLE et al., 2019). Muitos trabalhos mostraram a eficiência comprovada de produtos naturais e comerciais a base de terra de diatomáceas para o controle de *S. zeamais* (NWANADE, 2020; ADARKWAH et al., 2022; FREITAS et al., 2020; CINIVIZ; MUTLU, 2020; WILLE et al., 2019; BOUNOUIRA et al., 2022; ERTÜRK, 2021).

São muitas as pesquisas para a busca de novos métodos de controle de *S. zeamais*, que possam apresentar um menor impacto ao meio ambiente e ao ser humano, porém esses estudos se limitam a pesquisas de laboratório. Com isso, até os dias atuais o método mais utilizado é o uso de inseticidas químicos sintéticos. Sendo assim, é necessário somar esforços entre pesquisadores, universidades e instituições de pesquisa do mundo inteiro, a fim de, tornar o uso desses novos métodos em uma escala comercial, garantindo a segurança alimentar e a preservação do meio ambiente.

5. RESISTÊNCIA DE PLANTAS A INSETOS

A resistência de plantas é um método alternativo dentro do Manejo Integrado de Pragas (MIP), utilizado para o controle de insetos pragas. Esse método, além de realizar o controle naturalmente, é compatível com outros métodos de controle. Ainda pode contribuir para a diminuição no uso do controle químico convencional. A resistência de plantas pode ser aplicada através do uso de cultivares naturalmente resistentes ou aquelas modificadas geneticamente. As plantas naturalmente resistentes possuem uma combinação genética, que expressam características morfológicas, fisiológicas e também químicas, que possibilitam serem menos atacadas pelos insetos do que outras plantas, em uma comparação por igualdade de condições (SMITH, 2005).

A resistência de plantas é relativa, pois a planta é classificada como suscetível ou altamente suscetível quando esta é severamente danificada e até morta em comparação com outras plantas da mesma espécie, sob as mesmas condições experimentais. As plantas que são menos atacadas, ou utilizadas para abrigo e oviposição ou ainda quando apesar de serem utilizadas não são afetadas em seu desempenho produtivo são classificadas como resistentes ou moderadamente resistentes (VISOTTO et al., 2015). Nesse sentido, cultivares que se comportem como altamente ou moderadamente resistentes em um dado ensaio podem ter seu enquadramento alterado em função do comparativo estabelecido.

Ainda dentro de alguns princípios da resistência de plantas, uma planta pode ser resistente somente a uma espécie de inseto ou biótipo e não a outros. Além disso, a resistência é hereditária, ou seja, trata-se de um caráter genético, de modo que as progênes de uma planta resistente ou suscetível devem se comportar da mesma forma quando atacadas pelo inseto a qual elas foram resistentes ou suscetíveis na geração anterior (LARA, 1991). A resistência das plantas pode ser afetada devido a interação do genótipo e o ambiente, podendo alterar o fenótipo dependendo das condições ambientais, e isto pode implicar, no nível expresso de resistência (BALDIN et al., 2019).

Quanto as expressões das características de resistência, podem ser constitutivas ou induzidas. A resistência constitutiva é aquela que a planta naturalmente já apresenta as características as quais tornam essa planta resistente, ou seja, a planta possui genes que codificam substâncias químicas, características físicas e morfológicas geralmente em todos os estádios de desenvolvimento da planta (GATEHOUSE, 2002). Por outro lado, a resistência induzida só acontece quando ocorre um estímulo ou fator de estresse, isso desencadeia uma ação dos elicitores, como o ácido jasmônico e ácido salicílico (LARA, 1991). Esse evento é desencadeado quando o inseto herbívoro se alimenta da planta ou coloca seus ovos sobre ela, porém esse processo pode ocorrer por outros estresses bióticos e abióticos. As plantas apresentam uma resposta induzida de defesa, e aumentam quantitativamente a produção de enzimas antioxidantes e de defesa, compostos químicos tóxicos ou antinutricionais para o inseto, entre outros fatores de caráter morfológicos (VENDRAMIM et al., 2019).

A resistência de plantas a insetos pode ser conferida por três categorias diferentes, sendo essas a antibiose, antixenose e a tolerância (FRANETA et al., 2019). A resistência de plantas por antibiose ocorre quando um genótipo apresenta em sua constituição alguma característica ou um conjunto delas, de origem química, física, ou morfológica que permite que o inseto se alimente da planta hospedeira, porém essa planta exerce efeito adverso sobre a biologia do inseto, causando disfunções fisiológicas que podem levar a redução de tamanho, peso, fecundidade, alteração da proporção sexual e da longevidade, modificação no tempo e número de ínstaes, aumento da mortalidade entre outros aspectos morfológicos e fisiológicos do inseto (LÓPEZ-CASTILLO et al., 2018). Em decorrência da antibiose, esses efeitos podem ser letais e de ocorrência aguda, afetando ovos, pupas e ninfas que muitas das vezes não conseguem chegar à fase adulta, ocasionando sua morte (VISOTTO et al., 2015).

A antixenose, também conhecida como não-preferência, acontece quando uma planta é menos utilizada pelo inseto para sua alimentação, oviposição ou abrigo, que outras plantas em uma igualdade de condições, modificando assim o comportamento do inseto (SMITH, 2005; LÓPEZ-CASTILLO et al., 2018). Com isso, concluímos que a antixenose opera pela falta de atratividade da planta hospedeira para o inseto. Algumas características morfológicas da planta podem contribuir para a expressão desse tipo de resistência, por exemplo, a presença de tricomas em folhas e caules, conteúdo do mesófilo, fortificação da parede celular devido à grande quantidade de fibras, celulose, lignina e sílica, entre outros aspectos morfológicos da planta (MIEDANER; JURSZEK, 2021).

A tolerância acontece quando a planta mesmo sofrendo infestações pelos insetos consegue suportar o ataque, não reduzindo em sua quantidade e qualidade de produção, o que ocorre devido a planta ter um mecanismo de regeneração (SMITH, 2005; LÓPEZ-CASTILLO et al., 2018). Ou, ainda, um crescimento vigoroso para compensar as perdas de biomassa abaixo ou acima do solo devido a alimentação de insetos (MIEDANER; JURSZEK, 2021). Cabe aqui salientar que essa categoria de resistência não afeta o inseto praga, ou seja, o inseto se alimentará da planta normalmente, diferente da antibiose que afeta a biologia do inseto ou ainda no caso de antixenose, a qual tem efeitos de deterrência e repelência, mudando o comportamento do inseto.

A resistência de plantas, quanto a sua reposta de defesa, pode ser classificada em direta e indireta. Plantas que apresentam uma reposta direta, afetam diretamente a interação do inseto herbívoro com sua planta hospedeira. Os fatores que governam esse tipo de resistência incluem características isoladas ou em conjunto que alteram a preferência do inseto durante a seleção da planta hospedeira (antixenose) ou afeta o desempenho do inseto (antibiose), além de permitirem que as plantas se comportem como tolerantes ao ataque (VISOTTO et al., 2015).

As características de defesa direta são relacionadas com a presença de espinhos, tricomas, formato ou espessura da parede celular, velocidade de crescimento celular, dureza dos tecidos, incrustação de minerais, como silício na cutícula, presença de cera nas superfícies das folhas, aumento da síntese de algum composto secundário ou enzimas antioxidantes (por exemplo, peroxidase e polifenol oxidase), entre outros de natureza química (HOFFAMAN et al., 2019). Na resistência indireta as defesas das plantas são direcionadas aos inimigos naturais dos insetos herbívoros que as atacam, sendo uma interação tritrófica (HEIL, 2014).

A resistência de plantas geneticamente modificadas, vem sendo usada para resistir ao ataque de insetos pragas e diminuir os danos nas culturas, assim obtendo repostas positivas para agricultura e meio ambiente, pois reduz a utilização de inseticidas evitando o acúmulo de resíduos e a contaminação do homem (MENDES et al., 2011). Todavia, plantas geneticamente modificadas de milho e soja já têm demonstrado perda na sua eficácia no controle de insetos pragas, devido à evolução de resistências por parte desses insetos. Isso tem sido relatado por muitos autores (BANERJEE et al., 2022; MACHADO et al., 2020; MURÚA et al., 2019; CHANDRASENA et al., 2018).

Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos para buscar por métodos de controle de pragas de grãos armazenados que não utilizem inseticida, na tentativa de minimizar os resíduos por parte desses produtos evitando uma perda durante a armazenagem de grãos. Muitos desses estudos são por parte na identificação de variedades resistentes ao *S. zeamais*.

Frazão et al. (2018) avaliou a resistência de cinco cultivares de milho e seus efeitos de nutrição em *S. zeamais*, e constataram que a presença de inibidores de

lectinas e tripsina influenciaram em um aumento da resistência das cultivares testadas, prolongando o ciclo biológico dos insetos e a diminuição no consumo de matéria seca dos grãos. Nwosu (2016) estudou substâncias químicas presentes em grãos de milho como um fator de resistência a *S. zeamais*, e verificou que fibra bruta, ácido fenólico e inibidor de tripsina presentes nos grãos conferem alta resistência aos grãos de milho, pois diminuem o número de insetos emergidos, o que mostra uma maior mortalidade dos insetos, pois não conseguem chegar à sua fase adulta. Os compostos encontrados pelos autores nos grãos são capazes de causar efeitos adversos na biologia do inseto, aumentando a mortalidade, diminuindo o ciclo de vida e a longevidade, características de antibiose.

As características morfométricas dos grãos podem conferir resistência aos insetos pragas de cereais. Os aspectos físicos dos grãos podem causar efeitos de antixenose nos insetos como a cor, dureza e espessura dos grãos. Foi demonstrado anteriormente que a cor é um fator de resistência dos grãos à infestação de *S. zeamais* (UGAGU et al., 2021; NGOM et al., 2021). Algumas cores predisõem os grãos à infestação de *S. zeamais*, enquanto outras são repelentes (UGAGU et al., 2021; NGOM et al., 2021; NWOSU et al., 2015). Em um desses estudos, os pesquisadores sugeriram que o brilho dos grãos de milho da cor branco, possivelmente tem efeito repelente em adultos de *S. zeamais* (NWOSU et al., 2015). A combinação de cores em uma variedade de milho também parece desinteressar o adulto de *S. zeamais* a se alimentar durante a infestação (NWOSU et al., 2015).

Em outro estudo, os pesquisadores constataram que a cor do grão não parece ser importante para a resistência a *S. zeamais*, porém, observaram que variedades amarelas podem limitar a entrada de adultos de *S. zeamais* nos grãos (JIMÉNEZ-GALINDO et al., 2023). Esse desinteresse foi possivelmente devido a presença de ácido ferúlico, o qual está localizado no pericarpo e a aleurona que é especialmente intenso nas variedades de cores amarelas, as quais se mostraram resistentes nos estudos de Jiménez-Galindo et al., 2023 e Ngom et al., 2021. Esse composto fenólico presente nos grãos de milho está envolvido na resistência, devido à formação de tecidos superficiais (ação de antixenose) e propriedades antialimentares tóxicas (ação de antibiose) (NGOM et al., 2020).

A dureza dos grãos pode ser outro atributo relacionado aos efeitos de antixenose. Essa barreira mecânica se dá pela espessura e composição do pericarpo e do grão em geral, podendo dificultar a alimentação de *S. zeamais*. Além disso, as fêmeas no ato da postura precisam escavar profundamente nos grãos para depositar seus ovos, e grãos duros podem desinteressar esse comportamento de postura (BRILINGER et al., 2020; SULEIMAN et al., 2015; DEMISSIE et al., 2015). Devido a esses efeitos, a dureza dos grãos pode diminuir a emergência de *S. zeamais*, tornando resistente o genótipo de milho que apresente essa característica física (THORNE; EUBANKS 2015).

A correlação das características morfofísicas de grãos de milho como fator de resistência ainda não é bem compreendida, pois há vários parâmetros envolvidos na resistência de genótipos de milho, podendo ser químicos e físicos, sendo difícil de encontrar um parâmetro chave (LANZANOVA et al., 2021). O que se sabe, atualmente, é que a resistência de grãos de milho está relacionada às características quantitativas, mais do que característica de um único gene (LOCATELLI et al., 2019).

Nhamucho et al. (2017) testou dezessete genótipos de milho quanto a sua resistência a *S. zeamais*, incluindo sete híbridos experimentais, um híbrido liberado, duas variedades de polinização aberta, e três variedades crioulas (*landraces*), dois genótipos de milho resistentes e dois suscetíveis. Dos genótipos testados, foi constatado que aqueles que apresentavam alto conteúdo proteico eram resistentes, enquanto os com alto teor de amido mostravam suscetibilidade. Entre os resistentes estava uma variedade crioula. Entretanto, Nwosu et al. (2015) atribuíram a suscetibilidade de um genótipo ao teor de proteínas e amidos, sendo os grãos que contêm maior porcentagem de proteína, entre 3 a 4%, considerados os mais suscetíveis.

Em outro estudo, entre as variedades resistentes, a maioria, quatro entre seis, eram variedades de qualidade proteica. Os autores desse trabalho atribuíram a resistência dessas variedades a *S. zeamais* possivelmente devido ao efeito dos constituintes proteicos como triptofano e lisina, os quais podem afetar adversamente a alimentação, preferência hospedeira, crescimento ou desenvolvimento do inseto (HIRUY; GUTE 2018). Os teores de proteína podem afetar negativamente o número de ovos nos grãos e sua progênie, enquanto os compostos fenólicos afetam diretamente a progênie de *S. zeamais*. Em contraste, os lipídios então correlacionados com a suscetibilidade do material atacado (MARSARO JÚNIOR et al., 2008).

Além dos compostos alimentares influenciarem a resistência de genótipos de milho, a presença de compostos antialimentares, como a presença de inibidores de amilase, pode afetar negativamente o desenvolvimento de *S. zeamais* (NWOSU, 2016). A presença desse inibidor foi relatada como fator de resistência em grãos de milho, pois prolongou o ciclo biológico do inseto, contribuindo para um menor número de gerações de insetos emergindo na massa de grãos. Além disso, foi notado que variedades suscetíveis apresentavam menores quantidade de inibidores de amilase, o que modifica a ideia que a presença dessa substância está diretamente relacionada com a resistência de grãos de milho (MARSARO JÚNIOR et al., 2005).

Entre os componentes químicos de grãos, as glicoproteínas ricas em hidroxiprolina, as peroxidases, as proteinases e os inibidores de amilase representam uma fonte potencial de resistência natural (NAWROT et al., 2010). Os inibidores enzimáticos impedem a digestão, os quais afetam as enzimas digestivas do intestino dos insetos, que desempenham um papel fundamental na digestão de amido e proteínas, a principal fonte de energia e alimento para as pragas (MAGGIONI et al., 2016). Desta forma, os inibidores enzimáticos derivados de plantas são compostos promissores para novos sistemas de biocontrole de pragas (VI et al., 2017; LEMIC et al., 2020).

Estudos que buscam a identificação de variedades resistentes são importantes, pois, constituem fontes de genes que podem ser usados para o melhoramento genético visando o controle de pragas em armazenamento, efetivando novas medidas de controle e evitando a resistência de insetos a inseticidas, entre outros inúmeros problemas oriundos da presença de insetos em grãos armazenados (DEMISSIE et al., 2015).

REFERÊNCIAS

ACHEAMPONG, A.; AYERTEY, J. N.; EZIAH, V. Y.; IFIE, B. E. Susceptibility of selected maize seed genotypes to *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 81, p. 62-68, 2019.

ADARKWAH, C.; TUDA, M.; ADJEI, R. R.; OBENG-OFORI, D.; ULRICHS, C.; SCHÖLLER, M. Evaluation of three German enhanced diatomaceous earth formulations for the management of two major storage pests in Ghana. **Journal of Stored Products Research**, v. 96, p. 101947, 1 mar. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.101947>.

ANTUNES, L. E. G.; VIEBRANTZ, P. C.; GOTTARDI, R.; DIONELLO, R. G. Características físico-químicas de grãos de milho atacados por *Sitophilus zeamais* durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 615–620, 2011.

ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; MACHADO, J. A. D.; OLIVEIRA, L. de; SOUZA, Â. R. L. de. O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 515–540, 14 maio 2019. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n2p515-540>.

ATHANASSIOU, C. G.; SAKKA, M. K. Using Nitrogen for the Control of Stored Product Insects: One Single Application for Multiple Purposes. **Agrochemicals**, v. 1, n. 1, p. 22–28, dez. 2022. <https://doi.org/10.3390/agrochemicals1010004>.

BADJI, A.; KWEMOI, D. B.; MACHIDA, L.; OKII, D.; MWILA, N.; AGBAHOUNGBA, S.; KUMI, F.; IBANDA, A.; BARARYENYA, A.; SOLEMANEGY, M.; ODONG, T.; WASSWA, P.; OTIM, M.; ASEA, G.; OCHWOSSEMAKULA, M.; TALWANA, H.; KYAMANYWA, S.; RUBAIHAYO, P. Genetic Basis of Maize Resistance to Multiple Insect Pests: Integrated Genome-Wide Comparative Mapping and Candidate Gene Prioritization. **Genes**, v. 11, n. 6, p. 689, jun. 2020. <https://doi.org/10.3390/genes11060689>.

BADR, A.; EL-SHAZLY, H. H.; TARAWNEH, R. A.; BÖRNER, A. Screening for Drought Tolerance in Maize (*Zea mays* L.) Germplasm Using Germination and Seedling Traits under Simulated Drought Conditions. **Plants**, v. 9, n. 5, p. 565, maio 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9050565>.

BALDIN, E. L. L.; BENTIVENHA, J. P. F. Fatores que afetam a expressão da resistência. In: BALDIN, E. L. L.; VENDRAMIM, J. D. LOURENÇÃO, A. L. (ed.). **Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações**. Piracicaba: FEALQ, 2019. p. 323-356.

BANERJEE, R.; DE BORTOLI, C. P.; HUANG, F.; LAMOUR, K.; MEAGHER, R.; BUNTIN, D.; NI, X.; REAY-JONES, F. P. F.; STEWART, S.; JURAT-FUENTES, J. L. Large genomic deletion linked to field-evolved resistance to Cry1F corn in fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) from Florida. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 13580, 9 ago. 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17603-3>.

BARBANO, M. T.; DUARTE, A. P.; BRUNINI, O.; RECO, P. C.; ELISA, M.; PATERNIANI, A. G. Z. Temperatura-base e acúmulo térmico no subperíodo semente-adura-florescimento masculino em cultivares de milho no Estado de São Paulo. v. 9, n. 2, p. 8, 2001.

BARROS, F. A. P.; RADÜNZ, M.; SCARIOT, M. A.; CAMARGO, T. M.; NUNES, C. F. P.; DE SOUZA, R. R.; GILSON, I. K.; HACKBART, H. C. S.; RADÜNZ, L. L.; OLIVEIRA, J. V.; TRAMONTIN, M. A.; RADÜNZ, A. L.; MAGRO, J. D. Efficacy of encapsulated and non-encapsulated thyme essential oil (*Thymus vulgaris* L.) in the control of *Sitophilus zeamais* and its effects on the quality of corn grains throughout

storage. **Crop Protection**, v. 153, p. 105885, mar. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105885>.

BARROS, F. A. P.; RADÜNZ, M.; SCARIOT, M. A.; CAMARGO, T. M.; NUNES, C. F. P.; DE SOUZA, R. R.; GILSON, I. K.; HACKBART, H. C. S.; RADÜNZ, L. L.; OLIVEIRA, J. V.; TRAMONTIN, M. A.; RADÜNZ, A. L.; MAGRO, J. D. Efficacy of encapsulated and non-encapsulated thyme essential oil (*Thymus vulgaris* L.) in the control of *Sitophilus zeamais* and its effects on the quality of corn grains throughout storage. **Crop Protection**, v. 153, p. 105885, 1 mar. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105885>.

BOHINC, T.; HORVAT, A.; ANDRIĆ, G.; GOLIC, M. P.; KLJAJIĆ, P.; TRDAN, S. Natural versus synthetic zeolites for controlling the maize weevil (*Sitophilus zeamais*) like Messi versus Ronaldo? **Journal of Stored Products Research**, v. 88, p. 101639, 1 set. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101639>.

BOHINC, T.; HORVAT, A.; ANDRIĆ, G.; PRAŽIĆ GOLIC, M.; KLJAJIĆ, P.; TRDAN, S. Comparison of three different wood ashes and diatomaceous earth in controlling the maize weevil under laboratory conditions. **Journal of Stored Products Research**, v. 79, p. 1–8, 1 dez. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.06.007>.

BOUNOUIRA, Y.; GAOUAR BENYELLES, N.; SENOUCI, H.; BENAZZOUZ, F. Z.; CHAIEB, I. The insecticidal activity of a formulation of ammoides verticillata essential oil and diatomaceous earth on *Sitophilus zeamais*. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 42, n. 4, p. 2979–2985, 1 ago. 2022. <https://doi.org/10.1007/s42690-022-00827-1>.

BISHT, D. S.; BHATIA, V.; BHATTACHARYA, R. Improving plant-resistance to insect-pests and pathogens: The new opportunities through targeted genome editing. **Seminars in Cell & Developmental Biology**, CRISPR/Cas9. v. 96, p. 65–76, 1 dez. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2019.04.008>.

BRILINGER, D.; WILLE, C. L.; MACHADO DA ROSA, J.; FRANCO, C. R.; CARISSIMI BOFF, M. I. Susceptibility of Brazilian maize landraces to the attack of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 88, p. 101677, 1 set. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101677>.

CARVALHO, A.; LOPES, A. D.; REZENDE, C. N.; CARNEIRO, L. A. V.; MEIRELLES, V.; LARA, V. S.; CENDRON, V.; LORINI, I. Manejo integrado de pragas de grãos armazenados: implantação e monitoramento de pragas na unidade armazenadora. **PR Coop. Técnico Científico**, Curitiba, v.13, n. 17, p. 36-61, 2017.

CARVALHO, M. O.; FRADINHO, P.; MARTINS, M. J.; MAGRO, A.; RAYMUNDO, A.; DE SOUSA, I. Paddy rice stored under hermetic conditions: The effect of relative humidity, temperature and storage time in suppressing *Sitophilus zeamais* and impact on rice quality. **Journal of Stored Products Research**, v. 80, p. 21–27, 1 jan. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.11.002>.

CHANDRASENA, D. I.; SIGNORINI, A. M.; ABRATTI, G.; STORER, N. P.; OLACIREGUI, M. L.; ALVES, A. P.; PILCHER, C. D. Characterization of field-

evolved resistance to *Bacillus thuringiensis*-derived Cry1F δ -endotoxin in *Spodoptera frugiperda* populations from Argentina. **Pest Management Science**, v. 74, n. 3, p. 746–754, 2018. <https://doi.org/10.1002/ps.4776>.

CHIGOVERAH, A. A.; MVUMI, B. M. Comparative survival of *Prostephanus truncatus* (Coleoptera: Bostrichidae) and *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) under large-scale hermetic grain storage conditions. In: Jayas DS, Jian F (eds) **Proceedings of the 11th International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products** (CAF2020), CAF Permanent Committee Secretariat, Winnipeg, Canada. p. 139-145. 2020.

CINIVIZ, G.; MUTLU, C. Effectiveness of some native diatomaceous earth against maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae), under controlled conditions. **The Journal “Agriculture and Forestry”**, v. 66, n. 4, 15 dez. 2020. DOI [10.17707/AgricultForest.66.4.12](https://doi.org/10.17707/AgricultForest.66.4.12).

CONAB, companhia nacional de abastecimento. **Produção de grãos**. Brasília: [s.n.], 2023. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 14 nov. 2023.

CONTINI, E. et al. Milho-Characterização e Desafios Tecnológicos. **Embrapa**, v. 5, n. 1, p. 1–45, 2019.

CORADI, P. C.; MALDANER, V.; LUTZ, É.; DA SILVA DAÍ, P. V.; TEODORO, P. E. Influences of drying temperature and storage conditions for preserving the quality of maize postharvest on laboratory and field scales. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 22006, 15 dez. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78914-x>.

CORTESE, D.; ANDRADE, S. G. Resistência de genótipos de milho a densidades de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Revista Agrária Acadêmica**, v. 5, n. 4, p. 41-55, 2022.

CORTESE, D.; MARECO DA SILVA, M. M.; DE OLIVEIRA, G. S.; MUSSURY, R. M.; FERNANDES, M. G. Repellency and Reduction of Offspring Emergence Potential of Some Botanical Extracts against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) in Stored Maize. **Insects**, v. 13, n. 9, p. 842, set. 2022. <https://doi.org/10.3390/insects13090842>.

DA SILVA, H. J. T.; SANTOS, P. F. A.; NOGUEIRA JUNIOR, E. C.; VIAN, C. E. de F. Aspectos técnicos e econômicos da produção de etanol de milho no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 142, 30 dez. 2020.

DA SILVA, J. F.; MELO, B. A. de; RUFINO CORDEIRO, M. F.; TELES LEITE, D.; AMARAL DE BULHÕES, A. Resposta de *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1885, Coleoptera Curculionidae, frente ao extrato de *Capsicum annum* L. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 2, p. 2, 2013.

DANHO, M.; HAUBRUGE, É. Comportement de ponte et stratégie reproductive de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera : Curculionidae). **Phytoprotection**, v. 84, n. 2, p. 59–67, 2003. <https://doi.org/10.7202/007808ar>.

DEMISSIE, G.; TILAHUN, B.; DIDA, M.; TEKLEWOLD, A.; WEGARY, D. Evaluation of quality protein maize inbred lines for resistance to maize weevil *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: curculionidae) and other important agronomic traits. **Euphytica**, v. 205, n. 1, p. 137–150, 1 set. 2015. <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1412-5>.

DEUNER, C. et al. Physiological performance during storage of corn seed treated with insecticides and fungicide. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 2, p. 204–212, 2014.

DEVI, S. R.; THOMAS, A.; REBIJITH, K. B.; RAMAMURTHY, V. V. Biology, morphology and molecular characterization of *Sitophilus oryzae* and *S. zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 73, p. 135-141, 2017.

DIAS, S. P.; RAUTA, J.; WINCK, C. A. Condições de armazenagem e qualidade da matéria prima: estudo de caso em uma derivadora de alimentos a base de milho. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v.3, n.3, p.18-33, 2017.

DIAS, T. F. de V.; ARCANJO, L. de L.; COSTA, G. L. da; SOUZA, C. S.; LIMA, C. A. R. de. Controle de pragas e tratamento de grãos armazenados para uso em rações para animais. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e739996964–e739996964, 5 set. 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.6964>.

DOMIN, M.; KLUZA, F.; GÓRAL, D.; NAZAREWICZ, S.; KOZŁOWICZ, K.; SZMIGIELSKI, M.; ŚLASKA-GRZYWNA, B. Germination Energy and Capacity of Maize Seeds Following Low-Temperature Short Storage. **Sustainability**, v. 12, n. 1, p. 46, jan. 2020. <https://doi.org/10.3390/su12010046>.

DOS SANTOS, J. C.; FARONI, L. R. D. A.; DE OLIVEIRA SIMÕES, R.; PIMENTEL, M. A. G.; SOUSA, A. H. Toxicidade de inseticidas piretróides e organofosforados para populações brasileiras de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Bioscience Journal**, 2009.

DUALIBI, J. et al. Ele é o falso vilão. **Revista Veja**, São Paulo, v. 41, n. 17, p. 59– 61, abri 2008.

DÜRKS, J. M.; BOTELHO, F. M.; BOTELHO, S. de C. C.; RUFFATO, S.; HOSCHER, R. H. Perdas quantitativas e qualitativas em soja armazenada com aeração convencional e resfriamento artificial. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 17, n. 1, p. 31–39, 1 jun. 2019. <https://doi.org/10.5327/rcaa.v17i1.2861>.

ELIAS, M., OLIVEIRA, M. D., VANIER, N. **Tecnologias de Pré-Armazenamento, Armazenamento e Conservação de Grãos**. Pelotas: UFPel, 2017.

ERTÜRK, S. Combined and individual effects of diatomaceous earth and methyl eugenol against stored products insect pests. **Turkish Journal of Entomology**, v. 45, n. 2, p. 173–184, 1 jun. 2021. <https://doi.org/10.16970/entoted.843178>.

VI, T. X. T.; LE, H. D.; NGUYEN, V. T. T.; LE, V. S.; CHU, H. M. Expression of the ZmDEF1 gene and α -amylase inhibitory activity of recombinant defensin against maize

weevils. **Turkish Journal of Biology**, v. 41, p. 98–104, 2017. <https://doi.org/10.3906/biy-1512-64>.

FIESP. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Safra Mundial de Milho 2016/17-2 levantamento do USDA**. Disponível em: http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicações/safra-mundial-de-milho-2/attachment-boletim_milho_junho2016/. Acesso em: 26 jun. 2019.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Funep, 2007.

FRAGOSO, D. B.; GUEDES, R. N. C.; PETERNELLI, L. A. Developmental rates and population growth of insecticide-resistant and susceptible populations of *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, 2005.

FRANETA, F.; MIKIĆ, S.; MILOVAC, Ž.; MITROVIĆ, B.; INĐIĆ, D.; VUKOVIĆ, S. Maize defence mechanisms against the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* Hübner (Lepidoptera: Crambidae). **International Journal of Pest Management**, v. 65, n. 1, p. 23–32, 2 jan. 2019. <https://doi.org/10.1080/09670874.2018.1454629>.

FRAZÃO, C. A. V.; SILVA, P. R. R.; ALMEIDA, W. A. de; PONTUAL, E. V.; CRUZ, G. dos S.; NAPOLEÃO, T. H.; FRANÇA, S. M. de. Resistance of maize cultivars to *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 85, 14 nov. 2018. DOI [10.1590/1808-1657000552017](https://doi.org/10.1590/1808-1657000552017). Disponível em: <http://www.scielo.br/j/aib/a/CLtx6pB84SfFTRDtNBJSj9m/abstract/?lang=en>. Acesso em: 23 fev. 2023.

FREITAS, A. C. O.; GIGLIOLLI, A. A. S.; CALEFFE, R. R. T.; CONTE, H. Insecticidal effect of diatomaceous earth and dolomite powder against Corn weevil *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae). **Turkish Journal of Zoology**, v. 44, n. 6, p. 490–497, 20 nov. 2020. <https://doi.org/10.3906/zoo-2005-34>.

GARIBA, S. Y.; DZIDZIENYO, D. K.; EZIAH, V. Y. Assessment of four plant extracts as maize seed protectants against *Sitophilus zeamais* and *Prostephanus truncatus* in Ghana. **Cogent Food & Agriculture**, v. 7, n. 1, p. 1918426, 1 jan. 2021. <https://doi.org/10.1080/23311932.2021.1918426>.

GATEHOUSE, J. A. Plant resistance towards insect herbivores: a dynamic interaction. **New Phytologist**, v. 156, n. 2, p. 145–169, 2002. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00519.x>.

GITAH, S. M.; PIERO, M. N.; MBURU, D. N.; MACHOCHO, A. K. Repellent Effects of Selected Organic Leaf Extracts of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray and *Vernonia lasiopus* (O. Hoffman) against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). **The Scientific World Journal**, v. 2021, p. e2718629, 26 fev. 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/2718629>.

GOLIĆ, M. P.; ANDRIĆ, G.; JOVIČIĆ, I.; KLJAJIĆ, P. The effectiveness of low temperature (5 °C) on *Sitophilus oryzae* (L.), *Sitophilus zeamais* (Motch.) and *Sitophilus granarius* (L.) in wheat grain: The impact of pre-acclimation. **Journal of Stored**

Products Research, v. 90, p. 101751, 1 jan. 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101751>.

GUEDES, N. M. P.; TOLLEDO, J.; CORRÊA, A. S.; GUEDES, R. N. C. Insecticide-induced hormesis in an insecticide-resistant strain of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Journal of Applied Entomology**, v. 134, n. 2, p. 142–148, 2010.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2009.01462.x>.

HADDI, K.; MENDONÇA, L. P.; DOS SANTOS, M. F.; GUEDES, R. N. C.; OLIVEIRA, E. E. Metabolic and behavioral mechanisms of indoxacarb resistance in *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Economic Entomology**, v.108, n. 1, p. 362-369, 2015.

HAGSTRUM, D.W.; PHILLIPS, M.T.W. Evolution of stored-product entomology: protecting the world food supply. **Annual Review of Entomology**, v.62, p.379-397, 2017.

HASSAAN, M. A.; EL NEMR, A. Pesticides pollution: Classifications, human health impact, extraction and treatment techniques. **O Jornal Egípcio de Pesquisa Aquática**, v. 46, n. 3, p. 207-220, 2020.

HEIL, M. Herbivore-induced plant volatiles: targets, perception and unanswered questions. **New Phytologist**, v. 204, n. 2, p. 297–306, 2014.
<https://doi.org/10.1111/nph.12977>.

HIRUY, B.; GUTE, E. Screening of some Maize Varieties for Resistance against the Maize weevils, *Sitophilus zeamais* (Motsch.). **International Journal of Entomology and Nematology**, v. 4, n. 1, p. 77-84, 2018.

HOFFMANN-CAMPO, C. B.; GRAÇA, J. P. **O papel dos metabólitos secundários na resistência de plantas a insetos**. In: BALDIN, E. L. L.; VENDRAMIM, J. D. LOURENÇÃO, A. L. (ed.). Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações. Piracicaba: FEALQ, 2019. p. 99-126.

HONG, K.; LEE, W.; PARK, Y.; YANG, J. H. First confirmation of the distribution of rice weevil, *Sitophilus oryzae*, in south Korea. **Journal of Asia-Pacific Biodiversity**, Elsevier, v. 11, n. 1, p. 69–75, 2018. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10505>.

ILEKE, K. D.; IDOKO, J. E.; OJO, D. O.; ADESINA, B. C. Evaluation of botanical powders and extracts from Nigerian plants as protectants of maize grains against maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 27, p. 101702, 1 ago. 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101702>.

JIMÉNEZ-GALINDO, J. C.; CASTILLO-ROSALES, A.; CASTELLANOS-PÉREZ, G.; OROZCO-GONZÁLEZ, F.; ORTEGA-ORTEGA, A.; PADILLA-CHACÓN, D.; BUTRÓN, A.; REVILLA, P.; MALVAR, R. A. Identification of Resistance to the Corn Weevil (*Sitophilus zeamais* M.) in Mexican Maize Races (*Zea mays* L.). **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 312, fev. 2023. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020312>.

KAPPES, C., CECCON, G., DUARTE, A. **Panorama dos Sistemas de Produção de Milho Safrinha na Região Centro-Sul do Brasil em 2019**. Embrapa Agropecuária Oeste-Capítulo em livro científico (ALICE). 2019.

KASOZI, L. C.; DERERA, J.; TONGOONA, P.; GASURA, E. Seed generation effect on quality of genetic information from maize (*Zea mays* L.) diallel cross for maize weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) resistance. **Euphytica**, v. 217, n. 6, p. 114, 20 maio 2021. <https://doi.org/10.1007/s10681-021-02852-6>.

KISTLER, L. et al. Multiproxy evidence highlights a complex evolutionary legacy of maize in South America. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 362, n. 6420, p. 1309–1313, 2018.

KUMAR, R.; SANKHLA, M. S.; KUMAR, R.; SONONE, S. S. Impact of pesticide toxicity in aquatic environment. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, v. 11, n. 3, p. 10131–10140, 2021. <https://doi.org/10.33263/BRIAC113.1013110140>.

LANZANOVA, C.; AGAPE, C.; CASTORINA, G.; BALCONI, C.; ALFIERI, M.; LOCATELLI, D. P.; CONSONNI, G.; LIMONTA, L. Are variations in kernel-related morphometric and chemical parameters correlated with differences in *Sitophilus oryzae* attack in maize? ago. 2021. DOI [10.15258/sst.2021.49.2.02](https://doi.org/10.15258/sst.2021.49.2.02). Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/ista/sst/2021/00000049/00000002/art00002>. Acesso em: 21 fev. 2023.

LARA, F. M. **Princípios de resistência de plantas a insetos**. São Paulo: Ícone, 1991. 336 p.

LE, J.; DIANXUAN, W.; CHAO, Z.; RUIJIE, Z.; FANGFANG, Z. The Sizes of *Sitophilus zeamais* in Different Life Stage. **Grain & Oil Science and Technology**, v. 1, n. 4, p. 163–170, 1 out. 2018. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1447.GOST.2018.18054>.

LEMIC, D.; MIKAC, K. M.; GENDA, M.; JUKIĆ, Ž.; PAJAČ ŽIVKOVIĆ, I. Durum Wheat Cultivars Express Different Level of Resistance to Granary Weevil, *Sitophilus granarius* (Coleoptera; Curculionidae) Infestation. **Insects**, v. 11, n. 6, p. 343, jun. 2020. <https://doi.org/10.3390/insects11060343>.

LENGAI, G. M. W.; MUTHOMI, J. W.; MBEGA, E. R. Phytochemical activity and role of botanical pesticides in pest management for sustainable agricultural crop production. **Scientific African**, v. 7, p. e00239, 1 mar. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00239>.

LIAO, M.; LI, S.; WU, H.; GAO, Q.; SHI, S.; HUANG, Y.; CAO, H. Transcriptomic analysis of *Sitophilus zeamais* in response to limonene fumigation. **Pest Management Science**, v. 78, n. 11, p. 4774–4782, 2022. <https://doi.org/10.1002/ps.7097>.

LOCATELLI, D. P.; CASTORINA, G.; SANGIORGIO, S.; CONSONNI, G.; LIMONTA, L. Suscetibilidade de genótipos de milho a *Rhizopertha dominica* (F.). **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 126, p. 509-515. 2019.

LÓPEZ-CASTILLO, L. M.; SILVA-FERNÁNDEZ, S. E.; WINKLER, R.; BERGVINSON, D. J.; ARNASON, J. T.; GARCÍA-LARA, S. Postharvest insect resistance in maize. **Journal of Stored Products Research**, v. 77, p. 66–76, 1 jun. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.03.004>.

LORINI, I. **Insetos que atacam grãos de soja armazenados**. In: HOFFMANN-CAMPO, C. B., CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 421-444.

LORINI, I., KRZYZANOWSKI, F. C., FRANÇA-NETO, J. B., HENNING, A. A., HENNING, F. A. **Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas**. Brasília-DF: Embrapa. p. 84, 2015.

LORINI, I.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. Monitoramento da liberação do gás PH₃ por pastilhas de fosfina usadas para expurgo de sementes. **Informativo Abrates**, v. 21, n. 3, p. 57-60, 2011.

LORINI, I.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. **Expurgo da semente de soja com fosfina e seu efeito na qualidade fisiológica – Série Sementes**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 12 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 97).

LORINI, I.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. de B.; HENNING A, A. Principais pragas e métodos de controle em sementes durante o armazenamento. **Embrapa Soja-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, Informativo Abrates, v. 19, n. 1, p. 21–28, abr 2010.

MACALUSO, M.; FARINA, P.; ROSSI, L.; BIANCHI, A.; VENTURI, F.; ORTEGA, R. D. C.; BEDINI, S.; CONTI, B.; GUIDI, L.; ZINNAI, A. Chemical vs. Enzymatic Refining to Produce Peanut Oil for Edible Use or to Obtain a Sustainable and Cost-Effective Protector for Stored Grains against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Foods**, v. 11, n. 8, p. 1224, 2022.

MACHADO, E. P.; DOS S. RODRIGUES JUNIOR, G. L.; FÜHR, F. M.; ZAGO, S. L.; MARQUES, L. H.; SANTOS, A. C.; NOWATZKI, T.; DAHMER, M. L.; OMOTO, C.; BERNARDI, O. Cross-crop resistance of *Spodoptera frugiperda* selected on Bt maize to genetically-modified soybean expressing Cry1Ac and Cry1F proteins in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 10080, 22 jun. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67339-1>.

MACIEL, L. M.; TUNES, L. V. M. de. A importância do controle de qualidade nas sementes de milho / The importance of quality control in corn seeds. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 49934–49938, 7 jun. 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv.v7i5.30011>.

MAGGIONI, K.; SILVA, B. L.; XAVIER, F. Z.; MUNHAE, B. C.; DOURADO, B. R. L.; PAVAN, E. B. Performance of populations of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) on different varieties of maize. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 10, p. 873–881, 10 mar. 2016.

MARPAUNG, D. S. S. Mortality rate of *Sitophilus zeamais* in low temperature storage. **Agrointek : Jurnal Teknologi Industri Pertanian**, v. 15, n. 4, p. 1046–1053, 7 dez. 2021. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v15i4.10718>.

MARSARO JÚNIOR, A. L.; LAZZARI, S. M. N.; FIGUEIRA, E. L. Z.; HIROOKA, E. Y. Inibidores de amilase em híbridos de milho como fator de resistência a *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 443–450, 2005.

MARSARO JÚNIOR, A. L.; VILARINHO, A. A.; PAIVA, W. R. S. C. de.; BARRET, H. C. dos S. Resistência de híbridos de milho ao ataque de *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) em condições de armazenamento. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 6, n. 1, p. 45–50, 2008.

MEENA, R. S.; KUMAR, S.; DATTA, R.; LAL, R.; VIJAYAKUMAR, V.; BRTNICKY, M.; SHARMA, M. P.; YADAV, G. S.; JHARIYA, M. K.; JANGIR, C. K.; PATHAN, S. I.; DOKULILOVA, T.; PECINA, V.; MARFO, T. D. Impact of Agrochemicals on Soil Microbiota and Management: A Review. **Land**, v. 9, n. 2, p. 34, fev. 2020. <https://doi.org/10.3390/land9020034>.

MENDES, S. M.; BOREGAS, K. G. B.; LOPES, M. E.; WAQUIL, M. S.; WAQUIL, J. M. Respostas da lagarta-do-cartucho a milho geneticamente modificado expressando a toxina Cry 1A (b). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 239-244, 2011.

MIEDANER, T.; JUROSZEK, P. Global warming and increasing maize cultivation demand comprehensive efforts in disease and insect resistance breeding in north-western Europe. **Plant Pathology**, v. 70, n. 5, p. 1032–1046, 2021. <https://doi.org/10.1111/ppa.13365>.

MIKAMI, A. Y.; CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; VENTURA, M. U. Resistance of maize landraces to the maize weevil *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). **Neotropical entomology**, v. 41, n. 5, p. 404–408, 2012.

MURÚA, M. G.; VERA, M. A.; MICHEL, A.; CASMUZ, A. S.; FATORETTO, J.; GASTAMINZA, G. Performance of Field-Collected *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Strains Exposed to Different Transgenic and Refuge Maize Hybrids in Argentina. **Journal of Insect Science**, v. 19, n. 6, p. 21, 1 nov. 2019. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iez110>.

NAWAZ, A.; ALI, Z.; AASI, M. S.; IQBAL, J.; NADEEM, M. Evaluation of quantitative losses of maize genotypes to *Sitophilus zeamais* (Motsch) (Coleoptera: Curculionidae) under laboratory conditions. **Journal of Agricultural Research**, v. 55, n. 1, p. 55-63, 2017.

NAWROT, J.; GAWLAK, M.; SZAFRANEK, J.; SZAFRANEK, B.; SYNAK, E.; WARCHALEWSKI, J. R.; PIASECKA-KWIATKOWSKA, D.; BŁASZCZAK, W.; JELIŃSKI, T.; FORNAL, J. The effect of wheat grain composition, cuticular lipids and kernel surface microstructure on feeding, egg-laying, and the development of the

granary weevil, *Sitophilus granarius* (L.). **Journal of Stored Products Research**, v. 46, n. 2, p. 133–141, 1 abr. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2010.02.001>.

NEIDECK, G. K.; GRANATO, L. M.; FUNFGELT, K. Bioconstrução de taipa de mão: uma antiga técnica para uma nova maneira de armazenamento de grãos e sementes. **Scientia Prima**, v. 6, n. 1, p. 17–33, 27 maio 2020.

NGOM, D.; FAUCONNIER, M.-L.; MALUMBA, P.; DIA, C. A. K. M.; THIAW, C.; SEMBÈNE, M. Varietal susceptibility of maize to larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera; Bostrichidae), based on grain physicochemical parameters. **Plos One**, v. 15, n. 4, p. e0232164, 24 abr. 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232164>.

NGOM, D.; FAUCONNIER, M.-L.; MALUMBA, P.; THIAW, C.; BRÉVAULT, T.; SEMBÈNE, M. Morphophysical and biochemical traits involved in maize grain varietal susceptibility to the maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae). **Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement**, 2021. Disponível em: <https://agritrop.cirad.fr/601028/>. Acesso em: 16 fev. 2023.

NHAMUCHO, E.; MUGO, S.; GOHOLE, L.; TEFERA, T.; KINYUA, M.; MULIMA, E. Resistance of selected mozambican local and improved maize genotypes to maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky). **Journal of Stored Products Research**, v. 73, p. 115-124, 2017.

NORAMBUENA, C.; SILVA, G.; URBINA, A.; FIGUEROA, I.; RODRÍGUEZ-MACIEL, J. C. Insecticidal activity of *Laureliopsis philippiana* (Looser) Schodde (Atherospermataceae) essential oil against *Sitophilus* spp. (Coleoptera Curculionidae). **Chilean journal of agricultural research**, v. 76, n. 3, p. 330–336, set. 2016. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392016000300010>.

NWANADE, C. Persistence and Effectiveness of Diatomaceous Earth and Spinosad® Against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) on Stored Rice. **Nigerian Journal of Entomology**, v. 36, p. 113–117, 1 set. 2020. <https://doi.org/10.36108/NJE/0202/63.01.31>.

NWOSU, L. C. Chemical bases for maize grain resistance to infestation and damage by the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky. **Journal of Stored Products Research**, v. 69, p. 41–50, 2016.

NWOSU, L. C.; OLUKAYODE ADEDIRE, C.; OLUDELE OGUNWOLU, E. Screening for new sources of resistance to *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) infestation in stored maize genotypes. **Journal of Crop Protection**, v. 4, n. 3, p. 277–290, 10 set. 2015.

OJO, J. A.; OMOLOYE, A. A. Development and Life History of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) on Cereal Crops. **Advances in Agriculture**, p.1-8, 2016.

OLIVEIRA, A. A. F. de; QUEIROZ, R. G. de; GIMENES, R. M. T. Análise da viabilidade econômica para investimento em armazenamento de grãos. **Revista de Contabilidade e Gestão Contemporânea UFF**, v. 3, n. 1, p. 20–34, 28 out. 2020.

OLIVEIRA, E. E.; GUEDES, R. N. C.; TÓTOLA, M. R.; DE MARCO, P. Competition between insecticide-susceptible and -resistant populations of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Chemosphere**, v. 69, n. 1, p. 17–24, ago. 2007. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.04.077>.

OPIYO, S. A. Insecticidal Activity of Ocimum Suave Willd Extracts and Compounds against *Sitophilus zeamais* Motschulsky. **Basic Sciences of Medicine**, 2020.

PARAGINSKI, R. T.; ROCKENBACH, B. A.; SANTOS, R. F. dos; ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. de. Qualidade de grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 358–363, abr. 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p358-363>.

PATINO, M. T. O.; MACHADO, M. F.; NASCIMENTO, G. T. do; ALCANTARA, M. R. de. Analysis and forecast of the storage needs of soybeans in Brazil. **Engenharia Agrícola**, SciELO Brasil, v. 33, n. 4, p. 834–843, 2013.

PATIÑO-BAYONA, W. R.; NAGLES GALEANO, L. J.; BUSTOS CORTES, J. J.; DELGADO ÁVILA, W. A.; HERRERA DAZA, E.; SUÁREZ, L. E. C.; PRIETO-RODRÍGUEZ, J. A.; PATIÑO-LADINO, O. J. Effects of Essential Oils from 24 Plant Species on *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera, Curculionidae). **Insects**, v. 12, n. 6, p. 532, jun. 2021. <https://doi.org/10.3390/insects12060532>.

PEREIRA, C. J.; PEREIRA, E. J. G.; CORDEIRO, E. M. G.; DELLA LUCIA, T. M. C.; TÓTOLA, M. R.; GUEDES, R. N. C. Organophosphate resistance in the maize weevil *Sitophilus zeamais*: Magnitude and behavior. **Crop Protection**, v. 28, n. 2, p. 168–173, fev. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.10.001>.

PERERA, A. G. W. U.; KARUNARATNE, M. M. S. C.; CHINTHAKA, S. D. M. Prolonged repellent activity of *Ruta graveolens* essential oil adsorbed on different mineral matrices against *Sitophilus zeamais* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 97, p. 101976, maio 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.101976>.

PESCHIUTTA, M. L.; ACHIMÓN, F.; BRITO, V. D.; PIZZOLITTO, R. P.; ZYGADLO, J. A.; ZUNINO, M. P. Fumigant toxicity of essential oils against *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae): a systematic review and meta-analysis. **Journal of Pest Science**, v. 95, n. 3, p. 1037–1056, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01457-1>.

PIMENTEL, M., De Oliveira, I. R., MATRANGOLO, W., FERNANDES, D., & RAMOS, G. Eficiência de inseticidas alternativos para controle do caruncho-dormilho. **Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2019.

PINTO, U. M.; FARONI, L. R. D.; ALVES, W. M.; SILVA, A. A. L. da. Influência da densidade populacional de *Sitophilus zeamais* (Motsch.) sobre a qualidade do trigo destinado à panificação. **Acta Scientiarum**, v. 24, p. 1407–1412, 2002.

PRESTES, I. D.; ROCHA, L. O.; NUÑEZ, K. V. M.; SILVA, N. C. C. Principais fungos e micotoxinas em grãos de milho e suas consequências. **Scientia Agropecuaria**, v. 10, n. 4, p. 559–570, out. 2019. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.13>.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000.

QUIRINO, J. R. et al. Resfriamento artificial na conservação da qualidade comercial de grãos de milho armazenados. **Bragantia**, v. 72, n. 4, p. 378–386, 2013.

RASHID, M.; NAEEM, R. M.; KHAN, M.; ASHFAQ, M. Relative resistance of maize varieties against maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), (Coleoptera: Curculionidae). **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 58, p. 1169–1176, 21 set. 2021. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/21.45>.

RAMÍREZ-ROJAS, N. Z.; CERÓN-GARCÍA, A.; SALAS-ARAIZA, M. D.; ESTRADA-GARCÍA, H. J.; ROJAS-LAGUNA, R.; SOSA-MORALES, M. E. Radio frequency heating against *Sitophilus zeamais* Motschulsky in white maize. **Journal of Stored Products Research**, v. 89, p. 101730, 1 dez. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101730>.

RAO, D. N. S.; SATYANARAYANA, D. C. V. Effect of controlled atmosphere on the management of maize weevil, *Sitophilus zeamais* (L.) in Maize under ambient storage. **The Pharma Innovation Journal**, v. 9, n. 8, p. 226-228 2020.

RIBEIRO, L. P.; VENDRAMIM, J. D. Associação de extratos vegetais e terra de diatomácea no controle do gorgulho-do-milho *Sitophilus zeamais* mots. (Coleoptera: Curculionidae). **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 1, 17 maio 2019. DOI [10.21206/rbas.v9i1.7966](https://doi.org/10.21206/rbas.v9i1.7966).

ROCHA, F. V. da; JOÃO, A. M.; SANTOS, R. de M.; FILHO, J. V. C. A armazenagem de grãos no brasil: qual a melhor estratégia para os exportadores? **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 16, n. 3, p. 366–386, 2018. <https://doi.org/10.25070/rea.v16i3.7812>.

ROCHA, M. P.; TAVEIRA, J. H. da S.; PRADO, S. M. A.; ATAÍDE, M. V. Sistema de armazenamento e incidência dos principais fungos produtores de micotoxinas em grãos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 50176–50193, 23 jul. 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-608>.

SALIM, M.; GÖKÇE, A.; NAQQASH, M.; ERSOY, O. Insecticidal Potential of Native Diatomaceous Earth Against *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae). **Sarhad Journal of Agriculture**, v. 36, 1 jun. 2020. <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2020/36.2.729.733>.

SENAR. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Grãos: armazenamento de milho, soja, feijão e café**. Brasília-Senar, 2018.

SIKORSKI, C.; POLTRONIERI, A. S. Efeito de bioinseticidas formulados a partir de fungos entomopatogênicos sobre *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em

laboratório. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. e361111133535–e361111133535, 25 ago. 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33535>.

SILVA NETO, W. A.; SANTOS, T. L. O déficit na capacidade estática de armazenamento nas regiões centro-oeste e sul do Brasil. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 17, n. 3, p. 507–530, 16 dez. 2019. <https://doi.org/10.25070/rea.v17i3.8358>.

SILVA, D. F.; GARCIA, P. H. de M.; SANTOS, G. C. L.; FARIAS, I. M. S. C. de; PÁDUA, G. V. G. de; PEREIRA, P. H. B.; SILVA, F. E. da; BATISTA, R. F.; NETO, S. G.; CABRAL, A. M. D. Características morfológicas, melhoramento genético e densidade de plantio das culturas do sorgo e do milho: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e12310313172–e12310313172, 8 mar. 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13172>.

SILVA, J. S.; CAMPOS, M. G.; SILVEIRA, S. F. R. Armazenagem e comercialização de grãos no Brasil. In: **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: [s.n.], 2008. p. 1–19.

SILVA, L. C. **Estruturas para armazenagem de grãos a granel**. Boletim Técnico, 2010. Disponível em: <http://www.agais-.com/manuscript/ag0210_armazenagem_granel.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2020.

SILVA, M. V. de A.; FARONI, L. R. D.; DE ALENCAR, E. R.; DE SOUSA, A. H.; CECON, P. R.; NOGUEIRA, J. V. F.; MASON FILHO, V. Ozone Injection at Low Pressure: Decomposition Kinetics, Control of *Sitophilus zeamais*, and Popcorn Kernel Quality. **Ozone: Science & Engineering**, v. 44, n. 1, p. 66–78, 2 jan. 2021. <https://doi.org/10.1080/01919512.2021.1937043>.

SMITH, C. M. **Plant resistance to arthropods: molecular and conventional approaches**. Dordrecht: [s.n.]. 2005. 423 p.

STEFANELLO, R. et al. Physiological and sanitary qualities of maize landrace seeds stored under two conditions. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 39, n. 4, p. 339–347, 2015.

SULEIMAN, R.; WILLIAMS, D.; NISSEN, A.; BERN, C. J.; ROSENTRATER, K. A. Is flint corn naturally resistant to *Sitophilus zeamais* infestation? **Journal of Stored Products Research**, v. 60, p. 19–24, 1 jan. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.10.007>.

SULEIMAN, R.; WILLIAMS, D.; NISSEN, A.; BERN, C. J.; ROSENTRATER, K. A. Is flint corn naturally resistant to *Sitophilus zeamais* infestation? **Journal of Stored Products Research**, v. 60, p. 19–24, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.10.007>.

THRONE, J. E.; EUBANKS, M. W. Resistance of Tripsacorn-introgressed maize lines to *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 64, p. 62–64, 1 out. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2015.08.006>.

UGAGU, G. M.; NWOKE, B. E. B.; OPARA, N. K.; ONWUBUCHE, B. C.; ISIAKA, P. I.; NWOSU, L. C.; ELUWA, A. N.; AJAYI, O. A.; PETGRAVE, G. M.; AGUWA, U. O. Investigations on the inherent resistance of twenty-one maize varieties to maize

weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky at f2 generation. **Asian Journal of Advances in Research**, p. 21–31, 31 maio 2021.

VASSILAKOS, T. N.; RIUDAVETS, J.; CASTAÑÉ, C.; ITURRALDE-GARCIA, R. D.; ATHANASSIOU, C. G. Efficacy of Modified Atmospheres on *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae) and *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 112, n. 5, p. 2450–2457, 23 set. 2019. <https://doi.org/10.1093/jee/toz139>.

VENDRAMIM, J. D.; GUZZO, E. C.; RIBEIRO, L. P. Antibiose. In: BALDIN, E. L. L.; VENDRAMIM, J. D. LOURENÇÃO, A. L. (ed.). **Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações**. Piracicaba: FEALQ, 2019. p. 185-214.

VI, T.; LE, H.; NGUYEN, V.; LE, V.; CHU, H. Expression of the ZmDEF1 gene and α -amylase inhibitory activity of recombinant defensin against maize weevils. **Turkish Journal of Biology**, v. 41, n. 1, p. 98–104, 1 jan. 2017. <https://doi.org/10.3906/biy-1512-64>.

VIEBRANTZ, P. C.; RADUNZ, L. L.; DIONELLO, R. G. Mortality of insects and quality of maize grains in hermetic and non-hermetic storage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 5, p. 487–492, 2016.

VISOTTO, L.; FERNANDES, F.; FILHO, A.; LOPES, E.; AQUINO, L.; FERNANDES, M.; GOOD GOD, P. I.; RUAS, R.; JÚNIOR, J. **Avanços Tecnológicos Aplicados à Pesquisa na Produção Vegetal**. [S. l.: s. n.], 2015. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2701.5129>.

WAKIL, W.; KAVALLIERATOS, N. G.; USMAN, M.; GULZAR, S.; EL-SHAFIE, H. A. F. Detection of Phosphine Resistance in Field Populations of Four Key Stored-Grain Insect Pests in Pakistan. **Insects**, v. 12, n. 4, p. 288, abr. 2021. <https://doi.org/10.3390/insects12040288>.

WANG, Y.; WANG, J.; FU, X.; NAGEOTTE, J. R.; SILVERMAN, J.; BRETSNYDER, E. C.; CHEN, D.; RYDEL, T. J.; BEAN, G. J.; LI, K. S.; KRAFT, E.; GOWDA, A.; NANCE, A.; MOORE, R. G.; PLEAU, M. J.; MILLIGAN, J. S.; ANDERSON, H. M.; ASIIMWE, P.; EVANS, A.; ... JERGA, A. *Bacillus thuringiensis* Cry1Da₇ and Cry1B.868 Protein Interactions with Novel Receptors Allow Control of Resistant Fall Armyworms, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). **Applied and Environmental Microbiology**, v. 85, n. 16, p. e00579-19, ago. 2019. <https://doi.org/10.1128/AEM.00579-19>.

WANNA, R.; WONGSAWAS, M.; BUNPHAN, D. Fumigant and repellent potentials of essential oil from carrot (*Daucus carota* L.) seeds against *Sitophilus zeamais* Motschulsky. **Asia-Pacific Journal of Science and Technology**, v. 27, p. 1-7, 2022.

WENNECK, G. S.; SAATH, R.; ARAÚJO, L. L. de; SÁ, N. de O.; RAMOS, P. P. Deterrência à alimentação e à oviposição de *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) pelo uso pós vegetais em milho armazenado. **Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215**, v. 16, n. 2, p. 50–59, 5 maio 2020.

WILLE, C. L.; WILLE, P. E.; DA ROSA, J. M.; BOFF, M. I. C.; FRANCO, C. R. Efficacy of recovered diatomaceous earth from brewery to control *Sitophilus zeamais* and *Acanthoscelides obtectus*. **Journal of Stored Products Research**, v. 83, p. 254–260, 1 set. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.07.004>.

YANG, F.; KERNS, D. L.; BROWN, S.; HEAD, G. P.; HUANG, F. Pollen contamination in seed mixture increases the dominance of resistance to Bt maize in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Pest Management Science**, v. 73, n. 11, p. 2379–2385, 2017. <https://doi.org/10.1002/ps.4631>.

ZHANG, H.; WANG, D.; JIAN, F. Movement and distribution of *Sitophilus zeamais* adults and relationship between their density and trapping frequency in wheat bulks under different grain temperatures and moisture contents. **Journal of Stored Products Research**, v. 87, p. 101590, maio 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101590>.

CAPÍTULO 1

PERMANÊNCIA DA RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE MILHO A *Sitophilus zeamais* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)

RESUMO: *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) é a principal praga de grãos de milho armazenado e o uso de variedades resistentes é uma das principais alternativas de controle, que possibilita o menor uso de inseticidas químicos sintéticos. Esse trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho da resistência de oito genótipos de milho a *S. zeamais* ao passar de duas gerações. Realizou-se um experimento sem chance de escolha, em que foram pesados 50 g de grãos de cada genótipo, colocados em potes plásticos e infestados com 15 insetos adultos que foram mantidos por dez dias para a cópula e oviposição. Após esse período, os insetos adultos foram descartados para avaliação da geração F1. Adultos oriundos da geração F1 foram utilizados para a infestação dos grãos de cada genótipo, em avaliação da geração F2, seguindo a mesma metodologia do experimento anterior. Foram avaliados número total de insetos emergidos, peso de insetos, perda de massa de grãos, longevidade, ciclo biológico médio e índice de suscetibilidade. Em outro experimento, agora com chance de escolha, foram utilizadas arenas constituídas por bandejas plásticas quadradas, devidamente vedadas com duas camadas de plástico filme transparente PVC presas com fita adesiva nas bordas de cada bandeja. Estas arenas continham em seu interior oito placas de Petri, com 50 g de grãos de cada genótipo em cada uma das placas, sendo, em seguida, liberados 120 insetos adultos no centro da bandeja. O milho BR 451 QPM apresentou efeitos de resistência por antixenose. Al-Bandeirantes demonstrou efeito de antibiose nos insetos de *S. zeamais*. Concluímos que é de suma importância avaliar os efeitos de resistência de genótipos em mais de uma geração de insetos, para que se confirme o status de resistência ou suscetibilidade de um genótipo.

Palavras chave: Resistência de plantas, grãos, armazenamento, Caruncho-do-milho, Gerações.

ABSTRACT: *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) is the main pest of stored corn grains and the use of resistant varieties is one of the main control alternatives, which allows for less use of synthetic chemical insecticides. This work aimed to evaluate the resistance performance of eight maize genotypes to *S. zeamais* over two generations. A no-choice experiment was carried out, in which 50 g of grains from each genotype were weighed, placed in plastic pots and infested with 15 adult insects that were kept for ten days for copulation and oviposition. After this period, adult insects were discarded for evaluation of the F1 generation. Adults from the F1 generation were used to infest the grains of each genotype, in an evaluation of the F2 generation, following the same methodology as the previous experiment. The total number of insects emerged, insect weight, grain mass loss, longevity, biological coefficient and susceptibility index were evaluated. In another experiment, now with a chance to choose, arenas made up of square plastic trays were used, properly sealed with two layers of transparent PVC plastic film attached with adhesive tape to the edges of each tray. These arenas contained eight Petri dishes, with 50 g of grains of each genotype in each dish, and 120 adult insects were then released in the center of the tray. BR 451 QPM corn showed antixenosis resistance effects. Al-Bandeirantes demonstrated an

antibiosis effect on *S. zeamais* insects. We conclude that it is extremely important to evaluate the resistance effects of genotypes in more than one generation of insects, in order to confirm the resistance or susceptibility status of a genotype.

Keywords: Plant resistance, Grains, Storage, Corn weevil, Generations.

1. INTRODUÇÃO

Os grãos de milho (*Zea mays* L.) (Poales: Poaceae) têm um papel primordial na nutrição humana e animal, além de ser fonte de matéria-prima para indústrias, o que torna esse cereal importante para a economia agrícola mundial (BELL-GAM et al., 2021). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, ficando atrás somente dos EUA e China (GARCIA et al., 2021). Essa cultura é uma das mais cultivadas do mundo e também está como principal cultura básica para pequenos agricultores (RASHID et al., 2021). Sendo assim, a cultura do milho possui diversos germoplasmas adaptados a diferentes regiões geográficas. Por ter essa grande importância, a produção e distribuição dos grãos é feita mundialmente (ACHEAMPONG et al., 2019).

O armazenamento de grãos de milho é necessário e indispensável, uma vez que, garante o fornecimento regular, aumenta a segurança alimentar nacional e internacional, garante a estabilização de preços e lucros na comercialização, e o fornecimento de sementes para plantio (UGAGU et al., 2021). Além de tudo isso, esse cereal não é produzido o ano todo e sua produção corre risco de incidência de fatores bióticos e abióticos, como pragas e patógenos, que atacam grãos, tanto na pré como na pós-colheita (LANZANOVA et al., 2021).

No armazenamento, o milho enfrenta muitos desafios. Um dos maiores problemas vem da infestação de insetos-pragas. Entre os insetos pragas que danificam grãos de milho armazenado, pode-se destacar como principal, *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1885 (Coleoptera: Curculionidae) (SULEIMAN et al., 2019). Esse inseto é uma das principais pragas de milho armazenado no Brasil, porém é de ocorrência cosmopolita, podendo infestar outras culturas de cereais, incluindo arroz, aveia, trigo, sorgo e milheto. Esse inseto tem como características biológicas, infestação cruzada e alto potencial biótico (FRAZÃO et al., 2018).

As perdas durante o armazenamento, ocasionadas por esse inseto, variam de 15 a 90%, nos casos mais severos, em países em desenvolvimento, incluindo as regiões tropicais e subtropicais do mundo (SSERUMAGA et al., 2021). As perdas ocorrem através da redução dos grãos a pó seco, devido a alimentação de adultos e larvas que se

desenvolvem internamente nos grãos. Além disso, a alimentação larval desse inseto em sementes de milho impede a sua germinação (NGOM et al., 2021).

Para reduzir as perdas no rendimento de milho ocasionadas por *S. zeamais*, durante o armazenamento, utiliza-se amplamente o método químico. Esses inseticidas químicos sintéticos são caros e muitas vezes os agricultores não possuem habilidades necessários para manuseio (ACHEAMPONG et al., 2019). Embora os inseticidas químicos sintéticos sejam eficientes na redução da infestação de insetos, representam um risco significativo para a saúde dos consumidores de milho e são prejudiciais ao meio ambiente. Além disso, esses inseticidas podem resultar na evolução de resistência em insetos e no surgimento de pragas secundárias (BADJI et al., 2020). Entre os malefícios no uso de inseticidas químicos sintéticos estão a poluição ambiental, alto custo de aplicação, toxicidade direta aos usuários, efeitos adversos em organismos benéficos e não-alvo e aumento do risco à segurança dos trabalhadores (HIRUY, GETU, 2018). Isso tem direcionado à busca de novas alternativas de controle e manejo, como o uso de variedades de milho resistentes contra *S. zeamais*.

O uso de variedades resistentes é uma alternativa de controle dentro do manejo integrado de pragas (MIP), que possibilita o menor uso de inseticidas químicos sintéticos. Esse método é economicamente viável, fácil de manusear e seguro para a saúde humana e animal, além de ser um método de controle sustentável (ACHEAMPONG et al., 2019). Variedades resistentes podem controlar o inseto-praga já no campo, e os mecanismos de resistência são hereditários, ou seja, as características de resistência são genéticas e passadas de geração em geração (KHAKATA et al., 2018).

A geração de mais informações sobre a capacidade dos efeitos de resistência de variedades de milho a *S. zeamais* orientaria pesquisadores na seleção de germoplasma, para a melhoramento genético e reprodução de cultivares resistência ao *S. zeamais* (KASOZI et al., 2021). Sendo assim, estudos acerca da compreensão da resistência de genótipos de milho a infestações de *S. zeamais* em unidades armazenadoras, levarão à identificação de genótipos com potencial de serem incorporados em programas de manejo de insetos pragas de grãos armazenados.

Esse trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho da resistência pelos efeitos de antibiose e antixenose de oito genótipos de milho (BR 451 QPM, DKB 290, Pionner 3898, Guarani, Al-Bandeirantes, Roxo Asteca e Saboró) ao longo de duas gerações de *S. zeamais*. Com isso, poderá ser concluído se a resistência dos genótipos

de milho é eficaz ao longo das gerações desse inseto, confirmando a característica de herdabilidade da resistência de plantas, ainda que em um curto período de tempo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Condições laboratoriais dos experimentos e escolha das variedades

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Amostragem e Monitoramento de Insetos da Universidade Federal da Grande Dourados, em sala climatizada (27 ± 1 °C, Umidade relativa do ar 50 ± 10 e 12 horas de fotofase).

Oito genótipos de milho foram utilizados, BR 451 QPM, DKB 290, Pionner 3898, Guarani, Al- Bandeirantes, Roxo, Asteca e Saboró. As variedades crioulas locais foram disponibilizadas pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), produzidos por agricultores locais do Município de Bandeirantes, MS. As sementes de milho foram acondicionadas em freezer, a -10 °C, dentro de potes plásticos, por quatro dias, no intuito de eliminar possíveis infestações de insetos-pragas. E, após isso, foram secados em temperatura ambiente, até que atingissem uma umidade de 13%.

Análises químicas dos grãos foram feitas para as variedades mais importantes sendo estas AL-Bandeirantes, BR 451 QPM, DKB 290, Pionner 3898, as quais se destacaram com resultados contrastantes. A seleção das variedades analisadas para composição química foi baseada em critérios específicos relacionados ao objetivo principal da pesquisa, excluindo outras por não se enquadrarem nesses critérios. Além disso a quantidade e disponibilidade de recursos financeiros foi limitada, impossibilitando a análise completa de todas as variedades. As análises químicas foram realizadas, para proteína, amido e lipídios totais seguindo as metodologias de Detmann et al., (2012). Os dados foram expressos em porcentagem (%). As análises químicas foram conduzidas em laboratório de Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados.



Figura 1- Variedades de milho crioulo: Guarani, Al-Bandeirantes, Roxo, Asteca, Saboró. Genótipos melhorados geneticamente: BR 451, DKB 290, Pionner 3898. Foto: Diaine Cortese.

2.2 Obtenção e criação massal de *Sitophilus zeamais*

Insetos adultos de *S. zeamais* foram trazidos de propriedades agrícolas locais da região de Fátima do Sul - MS, que armazenavam milho para alimentação animal, sem nenhum tipo de tratamento preventivo ou curativo com inseticidas químicos. Os insetos foram colocados em cinco potes plásticos transparentes, devidamente fechados, contendo 1 kg de grãos de milho de uma cultivar convencional, (híbrido DKB 177 pro 3) e levados ao laboratório, onde foram mantidos em sala climatizada com temperatura de 27°C e umidade relativa do ar de 50 ± 10 . Os insetos foram mantidos por dez dias nesses recipientes, para que realizassem a copula e oviposição nos grãos. Após este período foram peneirados com auxílio de uma peneira de malha de arame com tamanho de (20 μ m a 125 mm) e retirados a fim de obter sua prole e monitorar a idade dos insetos.

2.3 Avaliação da permanência da resistência de genótipos de milho a diferentes gerações de *S. zeamais*

2.3.1 Teste sem chance de escolha

Para cada unidade experimental foi pesado 50 g de grãos de cada genótipo de milho, mantidos em potes plástico transparentes de 250 mL, fechados e identificados. Para a infestação dos grãos foram usados 15 insetos adultos não sexados da criação massal com idade de 7 a 14 dias, onde foram mantidos nos grãos por dez dias para a cópula e oviposição. Após esse período, os adultos foram peneirados com o auxílio de uma peneira de malha de arame (20 μ m a 125 mm) e descartados (MARSARO JÚNIOR et al., 2008). Os grãos então devolvidos para os potes plásticos, para a subsequente avaliação da geração F1.

Para a avaliação da geração F1, após decorrer trinta dias da infestação, diariamente os grãos foram observados para a contagem do número de insetos emergidos até o fim da emergência. Assim, determinou-se o número de insetos emergidos diariamente e a soma total desses insetos em cada genótipo de milho. Esses insetos foram retirados dos potes, contabilizados, e então devolvidos aos frascos plásticos identificados, para determinar o peso dos insetos. Foi pesado o total de insetos emergidos de cada genótipo através de uma balança semianalítica (marca: Bel, modelo: Bel LW303IH, precisão de 0,01 g).

A perda de massa de grãos foi obtida através da pesagem dos grãos com balança semianalítica (precisão de 0,01 g), após o final da constatação da emergência dos insetos, subtraindo o peso inicial de grãos com o peso final dos mesmos (TOSCANO et al., 1999).

Para a longevidade de *S. zeamais* foram separados cinco insetos recém emergidos de cada genótipo de milho de diferentes repetições e colocados isoladamente em eppendorfs de 2 ml, (RASHID et al., 2021) sem alimentação, em sala climatizada com 27 °C, onde eram observados diariamente, contando assim o número de dias de sobrevivência até sua morte.

A resistência dos genótipos de milho foi avaliada pelo índice de suscetibilidade (IS) de DOBIE (1977), que foi determinado pela seguinte equação: $IS = [(\ln \sum X) / CB] \cdot 100$; sendo: IS= Índice de suscetibilidade; \ln = logaritmo neperiano; $\sum X$ = somatório do número de gorgulhos emergidos em cada variedade; e CB= Ciclo biológico médio. O ciclo biológico do gorgulho-do-milho foi determinado pela equação $CB = \sum XY / \sum X$, sendo: X= Número de gorgulhos emergidos, y = número de dias desde a infestação até a

emergência e $xy =$ resultado da multiplicação de número de adultos emergidos e número de dias após infestação (MARSARO JÚNIOR et al., 2008). O índice de suscetibilidade é baseado na suposição de que, quanto maior for a progênie F1 e menor o tempo de desenvolvimento dos insetos, mais suscetíveis são os grãos para essa espécie (NWOSU et al., 2015 a).

Para a avaliação da geração F2, insetos nascidos da geração F1 de cada genótipo foram retirados e utilizados para a infestação de novos grãos íntegros dos mesmos genótipos, seguindo rigorosamente a mesma metodologia do experimento anterior. Os parâmetros avaliados em F2 foram os mesmos realizados na geração F1, afim de comparar seus desempenhos nas duas gerações (Figura 2).

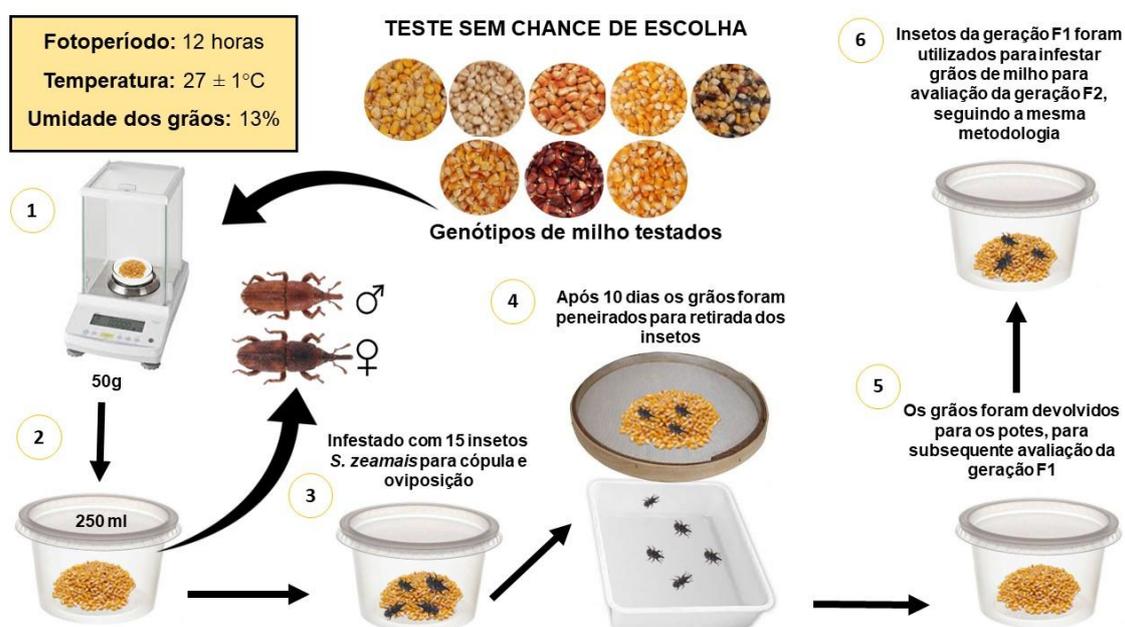


Figura 2- Imagem ilustrativa da metodologia do experimento de permanência da resistência de genótipos de milhos a diferentes gerações de *S. zeamais*, teste sem chance de escolha.

2.3.2 Teste com chance de escolha

Para o teste com chance de escolha foram utilizadas arenas constituídas por bandejas plásticas quadradas (25 cm x 35 cm), contendo em seu interior placas de petri, onde foram colocados aleatoriamente os recipientes com 50 g de grãos de milho de cada genótipo testado no experimento anterior, totalizando oito placas de petri por bandeja

(PADILHA et al., 2013). Em seguida foram liberados no centro da bandeja 120 insetos adultos, não sexados com idade de 7 a 14 dias, com 24 horas de jejum (NUNES; RIZENTAL, 2015). Para a vedação das bandejas foram colocadas duas camadas de plástico filme transparente PVC (28 cm x 30 m), devidamente vedado na borda de cada bandeja com fita adesiva impedindo a fuga dos insetos.

Após um período de dez dias para a cópula e oviposição, os insetos foram peneirados de cada placa de petri com auxílio de uma peneira de malha de arame com tamanho de (20 μ m a 125 μ m) e descartados. Posteriormente, os insetos foram devolvidos às placas de Petri que continham os grãos, sendo devidamente fechados (PADILHA et al., 2013).

Para a avaliação da prole após decorrer trinta dias da infestação, diariamente os grãos eram observados para a contagem do número de insetos emergidos até o fim da emergência. Assim que se iniciou a emergência, os insetos foram retirados e depositados em frascos plásticos identificados. Assim determinou-se o número total de insetos emergidos de cada genótipo (PADILHA et al., 2013). A perda de massa dos grãos e peso dos insetos foi avaliado seguindo a metodologia descrita no experimento anterior (Figura 3).

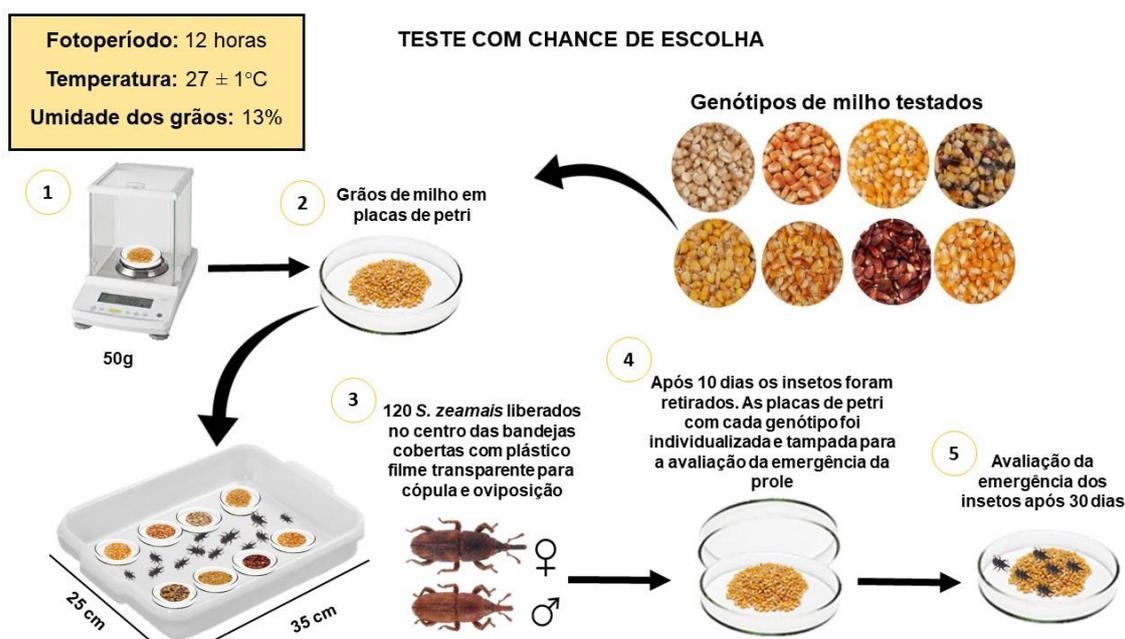


Figura 3- Imagem ilustrativa da metodologia do experimento de permanência da resistência de genótipos de milhos a diferentes gerações de *S. zeamais*, teste com chance de escolha.

2.4 Delineamento Experimental e Análises Estatísticas

Os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, com oito tratamentos. Para o teste sem chance de escolha, foram utilizadas três repetições, e cada repetição tinha quatro unidades experimentais, para cada tratamento. O teste com chance de escolha tinha dez repetições. Os dados foram submetidos à análise estatística de homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett, no qual atendeu a homogeneidade. Os resultados então foram submetidos a análise de variância (ANOVA) ($p \leq 0,05$) e respectivamente aos testes de médias Tukey e teste T (LSD), com o auxílio do Software estatístico SAS (SAS INSTITUTE, 1997).

3. Resultados

3.1 Número total de insetos emergidos em um teste sem chance de escolha.

Na primeira geração de *S. zeamais* a emergência dos insetos em alguns genótipos de milho teve início em torno dos 30 dias após a infestação, sendo estes BR 451 QPM, DKB 290, Guarani, Al-Bandeirantes, Asteca e Saboró, diferentemente de Pioneer 3898 que foi aos 40 dias e Roxo aos 36 dias. Destacaram-se com maior número de insetos emergidos aos 46 dias, os genótipos Al-Bandeirantes com 141 insetos e Saboró com 124 insetos emergidos. O genótipo BR 451 QPM foi o que apresentou um menor pico de insetos emergidos com 66 insetos aos 48 dias após a infestação (Figura 4).

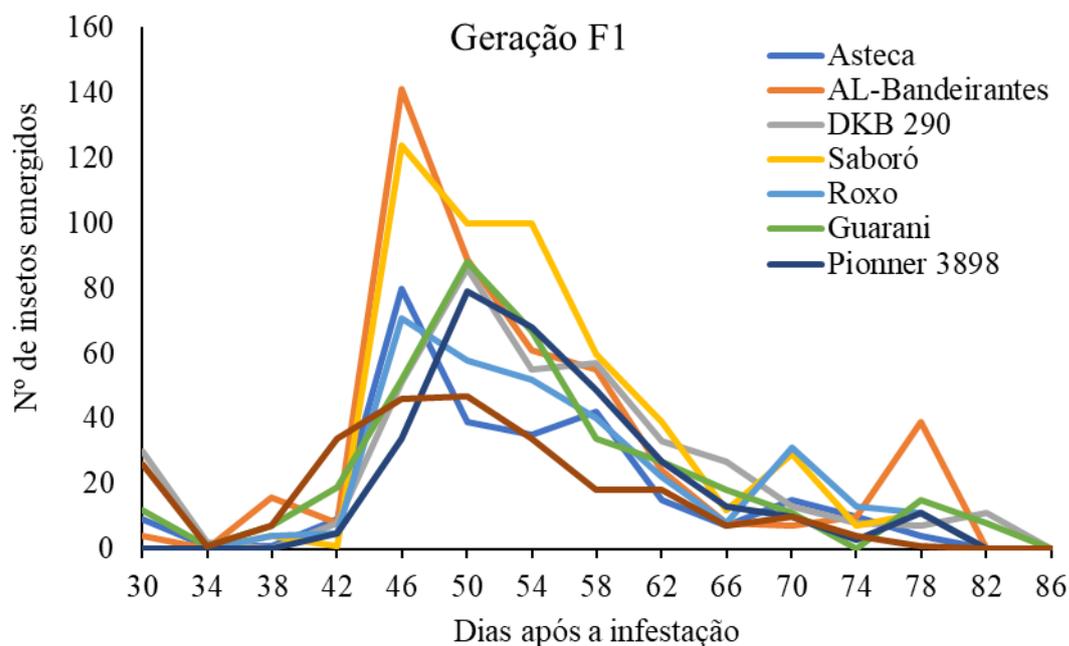


Figura 4- Total de *Sitophilus zeamais* emergidos por dia em oito genótipos de milho (Saboró, Al-Bandeirantes, DKB 290, Guarani, Roxo, Asteca, Pionner 3898, BR 451 QPM) na geração F1 em um experimento com delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Dourados-MS, 2022.

Na segunda geração de *S. zeamais* o genótipo BR 451 QPM teve sua emergência de insetos iniciada aos 32 dias, DKB 290, Pionner 3898, e Guarani aos 36 dias, sendo os demais, Al-Bandeirantes 50 dias, Roxo 58 dias e Asteca, Saboró aos 46 dias (Figura 5).

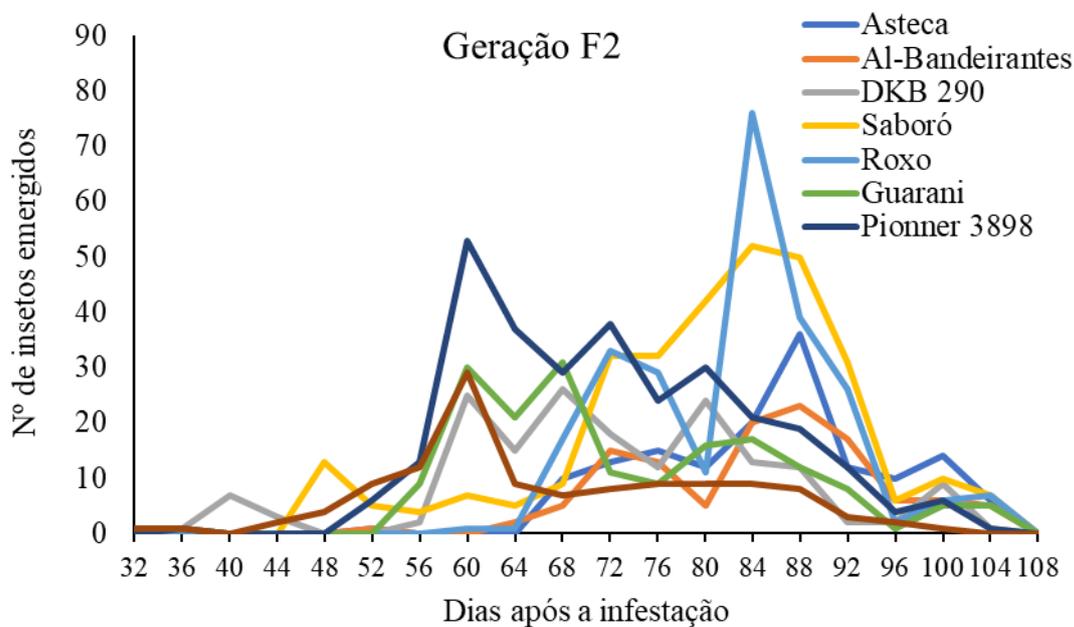


Figura 5- Total de *Sitophilus zeamais* emergidos por dia em oito genótipos de milho (Saboró, Al- Bandeirantes, DKB 290, Guarani, Roxo, Asteca, Pionner 3898, BR 451

QPM) na geração F2 em um experimento com delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Dourados-MS, 2022.

Na geração F2, os genótipos não apresentaram um pico de emergência igual para todos. Os genótipos Saboró e Roxo tiveram uma elevação no número de insetos emergidos aos 80 a 92 dias após a infestação. Já o genótipo Pionner 3898 teve um aumento aos 60 dias, e os demais genótipos mantiveram-se com comportamento semelhante na emergência de insetos. Os genótipos Saboró, Roxo e Pionner 3898, apesar do número maior de insetos emergidos diariamente, não passaram de 90 insetos. A variedade Al-Bandeirantes foi a que apresentou o menor número de insetos emergidos, diariamente, com, no máximo, 23 insetos emergidos no dia 82 após a infestação dos grãos (Figura 5).

Na primeira geração de *S. zeamais*, a emergência dos insetos para todos os genótipos teve um período em torno de 56 dias de duração e iniciou aos 30 dias após a infestação. O pico de emergência dos insetos para todos os genótipos ocorreu dos 44 aos 60 dias na geração F1, decaindo a emergência dos insetos aos 64 dias após a infestação.

Na geração F2, a população de insetos criados em todos os genótipos foi reduzida. A duração no número de dias de emergência dos insetos na segunda geração foi de 78 dias, bem maior do que na geração F1. Os insetos levaram mais tempo para se desenvolverem na geração F2, pois uma maior emergência dos insetos foi observada somente após 60 dias após a infestação (Figura 6).

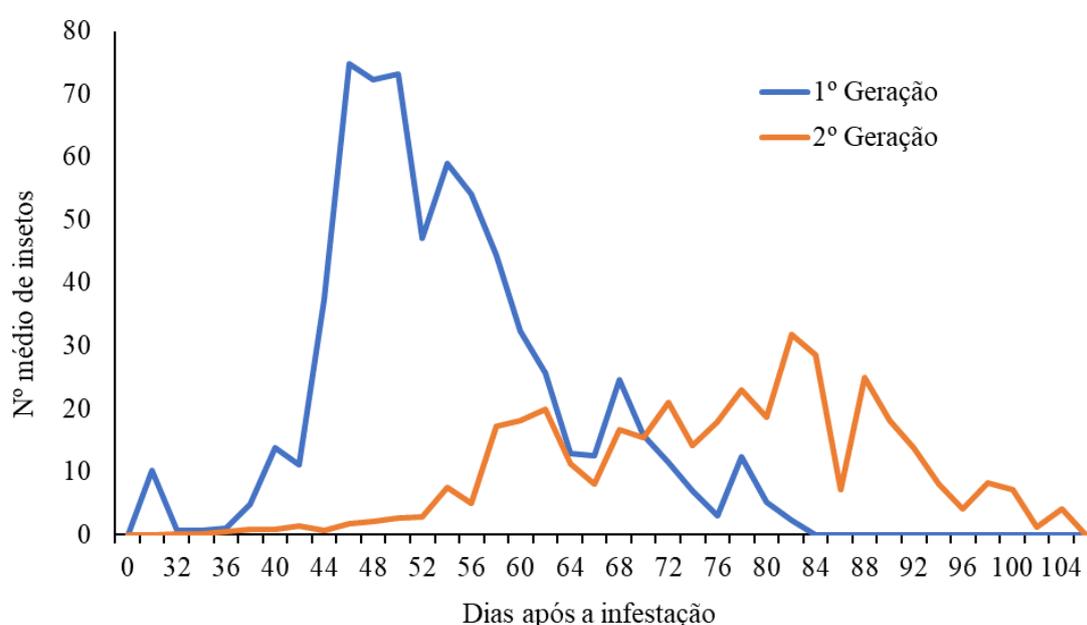


Figura 6- Número médio de *Sitophilus zeamais* emergidos diariamente após a infestação para os oito genótipos de milho (Saboró, Al-Bandeirantes, DKB 290,

Guarani, Roxo, Asteca, Pionner 3898, BR 451 QPM), para a geração F1 e F2, em um experimento com delineamento inteiramente casualizado, com três repetições para cada genótipo. Dourados-MS, 2022.

A variedade Saboró apresentou maior média no número total de insetos, e diferiu estatisticamente de BR 451 QPM o qual teve menor média na primeira geração de *S. zeamais*. Na segunda geração de insetos, Pionner 3898 foi o que se mostrou com maior média do número de insetos, insetos emergidos, diferente da variedade Al-Bandeirantes que teve o menor número médio de insetos para a geração F2.

Saboró, Al-Bandeirantes, DKB 290, Guarani e Asteca foram significativamente diferentes entre as gerações F1 e F2. Em contraste, os genótipos Roxo, BR 451 QPM e Pionner 3898 não diferiram estatisticamente entre as gerações F1 e F2 de *S. zeamais*

Tabela 1- Número total de *S. zeamais* emergidos, criados em oito genótipos de milho em duas gerações.

Genótipos	Geração F1	Geração F2
Saboró	303,33 a A	183,66 ab B
Al-Bandeirantes	288,33 ab A	69,33 b B
DKB 290	242,00 abc A	110,66 ab B
Guarani	234,00 abc A	123,66 ab B
Roxo	203,66 abc A	151,00 ab A
Asteca	175,66 bc A	87,33 b B
Pionner 3898	173,33 bc A	205,00 a A
BR 451 QPM	166,33 c A	95,33 ab A

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, em um nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste t (LSD), em um nível de 5% de probabilidade de erro.

3.2 Perda de massa de grãos

A perda de massa de grãos na geração F1, teve para o genótipo Pionner 3898 maior valor, com uma média de 3,92 gramas, diferindo estatisticamente BR 451 QPM teve a menor média na perda de massa de grãos com uma média de 1,51 gramas, uma diferença de 2,41 gramas em relação ao Pionner 3898 (Tabela 2). Na geração F2, a perda de massa dos grãos não foi significativamente diferente entre os genótipos.

Tabela 2- Perda de massa de grãos (gramas) em oito genótipos de milho, para as duas gerações de *S. zeamais*.

Genótipos	Geração F1	Geração F2
Pionner 3898	3,92 a A	1,94 a B

Saboró	2,91 ab A	3,51 a A
Al-Bandeirantes	2,79 ab A	2,76 a A
Guarani	2,62 ab A	2,55 a A
DKB 290	1,99 b A	2,15 a A
Asteca	1,73 b A	2,12 a A
Roxo	1,66 b A	2,75 a A
BR 451 QPM	1,51 b A	2,63 a A

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, em um nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste t (LSD), em um nível de 5% de probabilidade de erro.

Entre as duas gerações de *S. zeamais*, o genótipo Pionner 3898 teve maior média (3,92), diferindo estatisticamente da geração F2 que apresentou média de 1,94. Os demais genótipos não apresentaram diferenças significativas entre as gerações F1 e F2 de *S. zeamais* (Tabela 2).

3.3 Peso de insetos

Para o peso de insetos a variedade de milho Saboró teve maior peso nas duas gerações de inseto com 0,43 g para geração F1 e para gerações F2 0,25 g, respectivamente. Diferentemente BR 451 QPM, teve menor média para a duas gerações de inseto, com 0,22 gramas para primeira geração e na segunda um peso de 0,08, seguido de Al-Bandeirantes que também apresentou esse peso, diferiram esses genótipos somente de Saboró com 0,25 gramas (Tabela 03).

Tabela 3- Peso de adultos (g) de *S. zeamais* criados em um de oito genótipos de milho, em duas gerações consecutivas.

GENÓTIPOS	Geração F1	Geração F2
Saboró	0,43 a A	0,25 a B
Al-Bandeirantes	0,38 ab A	0,08 b B
DKB 290	0,32 ab A	0,14 ab B
Guarani	0,29 ab A	0,14 ab B
Roxo	0,27 ab A	0,18 ab A
Asteca	0,24 b A	0,11 ab B
Pionner 3898	0,24 b A	0,22 ab A
BR 451 QPM	0,22 b A	0,08 b B

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, em um nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste t (LSD), em um nível de 5% de probabilidade de erro.

O peso dos insetos foi diferente estatisticamente entre as gerações de *S. zeamais* para os genótipos Saboró, Al-Bandeirantes DKB 290, Guarani, Asteca e BR 451 QPM. Pionner 3898 e o genótipo Roxo foram os únicos genótipos que não tiveram diferenças significativas entre as gerações F1 e F2 (Tabela 3).

3.4 Ciclo biológico médio

O ciclo biológico médio dos *S. zeamais*, foi calculado pela equação $CB = \frac{\sum XY}{\sum X}$, sendo: X= Número de gorgulhos emergidos, y = número de dias desde a infestação até a emergência e xy= resultado da multiplicação de número de adultos emergidos e número de dias após infestação. O ciclo biológico médio foi menor para BR 451 QPM, com média de 49,94 e Bandeirantes com média de 53,39 (Tabela 4).

Tabela 4- Ciclo biológico médio em duas gerações de *S. zeamais*, previamente criados em oito genótipos de milho.

Genótipos	Geração F1	Geração F2
Pionner 3898	55,40 a B	70,27 cd A
Roxo	55,40 a B	82,81 ab A
DKB 290	54,89 a B	70,56 cd A
Guarani	54,55 a B	71,96 c A
Asteca	54,04 a B	84,32 a A
Saboró	53,89 a B	80,42 b A
Al-Bandeirantes	53,39 ab B	84,66 a A
BR 451 QPM	49,94 b B	66,71 d A

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, em um nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste t (LSD), em um nível de 5% de probabilidade de erro.

Na segunda geração a variedade de milho Al-Bandeirantes, com média de 84,66 para o ciclo biológico médio teve maior média e se diferenciou estatisticamente de BR 451 QPM, DKB 290 e Pionner 3898 os quais tiveram menor média, representando estes genótipos um grupo de suscetíveis ao *S. zeamais*. O ciclo biológico médio entre as gerações teve diferença estatística para todos os genótipos de milho, sendo que a geração F2 teve as maiores médias. (Tabela 4).

3.5 Longevidade

A longevidade na primeira geração foi maior para a variedade Asteca, que teve média de 17,8 dias para *S. zeamais*, a qual foi diferente estatisticamente de todos os outros genótipos de milho testados. O genótipo Roxo teve a menor longevidade na geração F1, com média de 8,40, no entanto, não diferiu dos genótipos Al-Bandeirantes e BR 451 QPM (Tabela 5).

Tabela 5- Longevidade de *S. zeamais* criados em oito genótipos de milho em duas gerações de *S. zeamais*.

Genótipos	Geração F1	Geração F2
Saboró	12,60 b B	15,60 a A
Al-Bandeirantes	10,20 bc B	15,40 a A
DKB 290	13,40 b A	14,40 ab A
Guarani	12,60 b A	13,40 abc A
Roxo	8,40 c A	10,60 bc A
Asteca	17,8 a A	14,20 ab B
Pionner 3898	13,20 b A	9,40 c B
BR 451 QPM	11,80 bc A	13,80 ab A

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, em um nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste t (LSD), em um nível de 5% de probabilidade de erro.

Na geração F2, Saboró teve maior média, com 15,60 dias de longevidade, onde teve diferença significativa em relação ao genótipo Pionner 3898 que teve uma média de somente 9,40 dias de longevidade. A longevidade entre as gerações teve um diferente desempenho, no qual, os genótipos Saboró e Al-Bandeirantes tiveram as maiores médias para a longevidade na geração F2. Já os genótipos Asteca e Pionner 3898 tiveram maiores médias na geração F1 de *S. zeamais* (Tabela 5).

3.6 Índice de suscetibilidade

A resistência dos genótipos de milho foi avaliada pelo índice de suscetibilidade, sendo na geração F1, as variedades Saboró, Al-Bandeirantes, BR 451 QPM, DKB 290, Guarani, Asteca e Roxo se mostraram mais suscetíveis. Pionner 3898 teve menor média, 9,30, na geração F1 (Tabela 6).

Tabela 6- Índice de suscetibilidade de (Dobie) com oito genótipos de milho em duas gerações de *S. zeamais*

Genótipos	Geração F1	Geração F2
Saboró	10,58 a A	6,47 abc B

Al-Bandeirantes	10,58 a A	4,92 d B
BR 451 QPM	10,22 ab A	6,73 ab B
DKB 290	9,97 ab A	6,65 ab B
Guarani	9,90 ab A	6,68 ab B
Asteca	9,56 ab A	5,29 cd B
Roxo	9,53 ab A	6,04 bcd B
Pionner 3898	9,30 b A	7,57 a B

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, em um nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste t (LSD), em um nível de 5% de probabilidade de erro.

Na geração F2, Pionner 3898 teve maior média para o índice de suscetibilidade, diferentemente de Al-Bandeirantes que teve menor média. O índice de suscetibilidade foi diferente entre as gerações, sendo que a geração F1 teve as maiores médias e menores médias para a geração F2.

3. 7 Teste com chance de escolha para *S. zeamais* em oito genótipos de milho

O total de insetos emergidos (TI), peso de insetos (PI) e perda de massa de grãos (PMG), apresentaram diferenças significativas entre os genótipos.

O número total de insetos para o teste com chance de escolha foi maior para DKB 290, que teve uma média de 87,40, o qual foi diferente estatisticamente de todos os demais genótipos. Asteca, Roxo, Guarani e BR 451 QPM tiveram as menores médias no total de insetos emergidos (Tabela 7).

Tabela 7- Número total de insetos (TI), peso de insetos (PI) (mg) e perda de massa de grãos (PMG) em (g), em um experimento com chance de escolha, com oito genótipos de milho infestados com *S. zeamais*

Genótipos	TI	PI	PMG
DKB 290	87,40 a	0,10 a	5,37 a
Saboró	57,50 b	0,06 a	2,55 bc
Al-Bandeirantes	42,10 bc	0,04 bc	1,67 cd
Pionner 3898	37,40 bcd	0,03 bc	1,55 cde
BR 451 QPM	24,10 cde	0,02 cd	1,12 de
Guarani	26,10 cde	0,02 cd	1,18 de
Roxo	20,60 de	0,01 cd	0,33 e
Asteca	12,90 e	0,01 d	3,02 b

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, em um nível de 5% de probabilidade de erro.

Com relação ao peso de insetos, os genótipos DKB 290 e Saboró tiveram as médias maiores, com 0,10 g e 0,06 g, respectivamente. Os genótipos Roxo, Guarani, BR 451 QPM e Asteca tiveram menores pesos de insetos.

Por fim, a variável perda de massa de grãos foi maior no genótipo DKB 290, que diferiu de todos os demais genótipos, com média de 5,37 gramas de massa de grãos perdido pelo consumo dos insetos. A menor média para perda de massa de grãos foi para Roxo, com média de 0,33 g, porém não foi diferente estatisticamente dos genótipos BR 451 QPM, Guarani e Pioneer 3898 (Tabela 7).

Tabela 8- Análises químicas totais (amido, proteínas e lipídeos) de grãos de milho, expressos em (%) na variedade AL-Bandeirante e cultivares Pioneer 3898, DKB 290 e BR 451 QPM.

Variedades	Amido	Proteínas	Lipídeos
BR 451 QPM	62,41	8,00	6,26
DKB 290	47,35	4,14	8,82
AL- Bandeirantes	75,15	5,91	4,24
Pioneer 3898	60,04	2,25	8,08

Seguindo a metodologia de Dtmann et al., 2012.

A variedade Al-Bandeirantes foi a que apresentou maior porcentagem de amido totais, com 75,15%, em comparação com BR 451 QPM, que apresentou 62,41%, Pioneer 3898 com 60,04% e DKB 290 com 47,35%. As maiores porcentagens de proteínas totais foram encontradas em grãos de BR 451 QPM, com 8,00%, seguidos de Al-Bandeirantes (5,91%), DKB 290 (4,14%) e Pioneer 3898, com 2,25% de proteínas totais. As cultivares DKB 290 e Pioneer 3898 tiveram os maiores valores para lipídios totais, com valores de 8,82% e 8,08%, respectivamente, seguidos de BR 451 QPM, com 6,26% e Al-Bandeirantes com 4,24%.

4. DISCUSSÃO

As variações encontradas no período de desenvolvimento e emergência de *S. zeamais*, em relação aos diferentes genótipos de milho estudados indicam que esses tiveram influência sobre a biologia do inseto. Essa constatação destaca a importância do alimento de hospedeiros suscetíveis, que proporciona um ambiente favorável para o desenvolvimento dos insetos (NWOSU et al., 2015 a).

A variedade Saboró se mostrou adequada para alimentação e desenvolvimento de *S. zeamais*, apresentando as maiores médias para número total de insetos, perda de

massa de grãos e peso de insetos em duas gerações, e esses resultados se repetiram no teste com chance de escolha. Além disso, observou-se a rápida emergência dos insetos na geração F1, sugerindo que os compostos nutricionais presentes nesse genótipo não alteraram o ciclo biológico do inseto, permitindo um bom desenvolvimento. Consequentemente, Saboró apresentou maior média para índice de Dobie, sendo, então, considerada suscetível ao ataque de *S. zeamais*, o que está em conformidade com achados anteriores (RASHID et al., 2021), em uma variedade suscetível que estudaram.

O índice de suscetibilidade, baseado na progênie F1 e no tempo de desenvolvimento dos insetos, demonstrou que os genótipos Saboró, Bandeirantes, DKB 290, Guarani e Roxo permitiram um bom desenvolvimento dos insetos. No entanto, é importante observar que os efeitos de suscetibilidade ou resistência são mais evidentes ao longo de várias gerações (UGAGU et al., 2021).

Os genótipos Saboró e DKB 290 mantiveram-se suscetíveis em duas gerações de *S. zeamais*. No entanto, o genótipo Pioneer 3898, apesar de maior média para o ciclo biológico médio e menor média para o índice de suscetibilidade na geração F1, não teve o mesmo desempenho para a geração F2, quando teve o maior valor para o índice de suscetibilidade. Pioneer 3898 não apresentou diferenças estatísticas no número total de insetos emergidos entre as gerações F1 e F2, indicando que as características físicas e químicas desses grãos não afetaram a emergência de insetos ao longo das gerações.

Isso mostra claramente que alguns genótipos podem parecer resistentes quando comparados com outros genótipos na primeira geração, como a variedade de milho Pioneer 3898, todavia é necessário avaliar essa resistência ao longo de gerações, pois esse genótipo perdeu pelo menos parte de sua resistência inerente à medida que o período de armazenamento avançou (UGAGU et al., 2021). Os resultados observados neste trabalho deixam claro que a duração no armazenamento do milho tem relação direta com sua suscetibilidade à infestação de *S. zeamais* (NWOSU et al., 2015 a).

Os elevados valores de lipídios, como os apresentados pelos genótipos DKB 290 e BR 451 QPM, podem estar correlacionados com a suscetibilidade ao ataque de *S. zeamais* (MARSARO JÚNIOR et al., 2008). A relação entre a suscetibilidade e o teor de proteínas também é evidente, uma vez que altas porcentagens de proteínas nos grãos podem afetar negativamente os insetos, causando efeitos de antibiose e antixenose (MARSARO JÚNIOR et al., 2008; NHAMUCHO et al., 2017; LANZANOVA et al., 2021).

A variedade Al-Bandeirantes demonstrou que a resistência pode aumentar ao longo das gerações. Isso foi evidenciado pela redução drástica na emergência dos insetos na geração F2, em relação ao total de insetos emergidos na geração F1, o que pode estar relacionado a mecanismos de antibiose. O ciclo biológico médio desse genótipo, para a geração F2, foi o maior entre todos os genótipos. Isso pode ser observado na emergência diária dos insetos, pois, na geração F1, os insetos começaram a emergir aos trinta dias, porém, na geração F2, os primeiros insetos levaram cinquenta dias para iniciarem a emergência. Muitos estudos que testaram a resistência de variedades de milho relataram que, insetos criados em variedades resistentes tendem a ter um tempo de desenvolvimento mais longo, menor emergência de adultos e perda de peso dos grãos (NHAMUCHO et al., 2017; RASHID et al., 2021; NGOM et al., 2021).

A maior emergência de insetos durante a geração F2 em Al-Bandeirantes foi dos 84 aos 92 dias após a infestação, ou seja, quanto maior o tempo que o inseto leva para se desenvolver e completar seu ciclo biológico menor será o número de gerações, e consequentemente menor será a quantidade de danos nos grãos (DEMISSIE et al., 2015). Por outro lado, a baixa emergência em Al-Bandeirantes na geração F2 pode ser devido ao mecanismo de antibiose, que é mediado por vários fatores (JIMÉNEZ-GALINDO et al., 2023). Muitas vezes, os efeitos de antibiose podem não matar o inseto imediatamente, mas afeta sua sobrevivência (LÓPEZ-CASTILLO et al., 2018; BRILINGER et al., 2020). Sendo assim, pode-se inferir que os insetos oriundos da geração F1 podem ter nascidos debilitados, originando fêmeas com baixa fertilidade e isso ter afetado a emergência nesta geração. Outro fator ligado a antibiose é a mortalidade larval (GUZZO et al., 2002; NHAMUCHO et al., 2017; NGOM et al., 2021), que pode ter ocorrido de forma mais acentuada para a geração F2 em Al-Bandeirantes.

São diversos os fatores que possivelmente influenciaram os mecanismos de resistência observados nos genótipos de milho. A resistência dos grãos ao ataque de *S. zeamais* é uma característica multifatorial, na qual contribuem elementos de origem química, física e ambiental, que são herdados geneticamente. Esses elementos englobam a antibiose, a proteção conferida pela casca, o tamanho e a textura da superfície do pericarpo, a dureza do grão, os teores de amido e proteína, além de compostos antialimentares, como compostos fenólicos, a presença de alcaloides potencialmente tóxicos, inibidores de amilase e proteinase, bem como o teor de umidade e as condições de temperatura dos grãos (NWOSU, 2016; VI et al., 2017; NHAMUCHO et al., 2017;

FRAZÃO et al., 2018; RASHID et al., 2021; SSERUMAGA et al., 2021). Importante salientar que esses fatores podem atuar de maneira isolada ou em combinação, desempenhando um papel crítico na redução dos efeitos causados pelos danos provocados pelos insetos que acometem os grãos.

O genótipo BR 451 QPM demonstrou um bom desempenho para as duas gerações de *S. zeamais*. Esse genótipo apresentou menor taxa de emergência de insetos, menor peso de insetos e menor perda de massa dos grãos, em comparação com os demais genótipos avaliados. Todavia, o tempo de desenvolvimento dos insetos não foi significativamente afetado, porque o ciclo biológico médio para esse genótipo foi o menor para as duas gerações. Ao analisar o número diário de insetos emergidos, observou-se que os primeiros insetos emergiram aos 30 e 32 dias após a infestação, nas gerações F1 e F2, respectivamente. Esses dados confirmam que a composição nutricional desses grãos não afetou o período de desenvolvimento dos insetos. Possivelmente, características como a dureza dos grãos, bem como outros atributos como cor, brilho, espessura do pericarpo, textura e tamanho dos grãos, podem ter contribuído para a redução do número de insetos emergidos.

O genótipo BR 451 QPM apresentou a maior porcentagem de proteínas totais nas análises químicas, isso porque essa cultivar foi melhorada geneticamente para apresentar um alto teor proteico (MIKAMI et al, 2012). Já foi relatado que genótipos com alto conteúdo proteico eram resistentes enquanto que, os com alto teor de amido, mostravam suscetibilidade (NHAMUCHO et al., 2017). Proteínas, textura e dureza de grão afetam a resistência de forma interligadas (MWLOLO et al., 2013). Dessa forma, uma possível resposta para o menor número de insetos emergidos pode ser a ação conjunta dessas três características do genótipo BR 451 QPM.

A dureza dos grãos acaba sendo uma barreira física, que leva os insetos a uma não preferência para alimentação e oviposição. Quanto mais duro forem os grãos, mais difícil será para a fêmea escavar os orifícios para depositar seus ovos nos grãos. Esses fatores físicos, aliados à alteração do pericarpo, podem condicionar resistência a *S. zeamais*, pois alguns estudos relataram a diminuição na emergência desses insetos em genótipos que conferiam dureza do tegumento (MIKAMI et al., 2012; MWLOLO et al., 2013; SULEIMAN et al., 2015; THRONE; EUBANKS, 2015)

Um outro fator que pode ter contribuído para antixenose em BR 451 QPM foi a coloração branca dos grãos. Em outros estudos já foi demonstrado que a cor é um fator de resistência dos grãos a infestações por *S. zeamais*, sendo sugerido que o brilho da cor

branca em grãos de milho possivelmente tem efeito repelente em adultos de *S. zeamais* (NWOSU et al., 2015 b; NWOSU et al., 2016 a; UGAGU et al., 2021). Isso predispõem que variedades de milho que apresentam cores claras podem ser armazenadas por um período de tempo relativamente maior do que outras, sem maiores danos, por apresentarem essa característica de não preferência pelo inseto (UGAGU et al., 2021).

Assim, fica claro que a dureza dos grãos e a coloração branca podem influenciar na resistência dos genótipos ao ataque de *S. zeamais*. Genótipos com grãos mais duros e coloração branca apresentam, comprovadamente, menor emergência desses insetos, provavelmente devido a uma combinação dessas características.

O teste com chance de escolha pode confirmar o efeito de antixenose, pois o genótipo BR 451 QPM foi um dos menos preferidos pelos insetos para oviposição, e isso pode ser confirmado, pelo baixo número total de insetos emergidos e por não possuir perfurações nos grãos, o que indica que os grãos não foram utilizados para alimentação ou oviposição. Neste teste ainda não observamos perfuração dos grãos ou resíduos como nos demais genótipos. Pode-se sugerir, assim, que as características intrínsecas desse genótipo podem influenciar na infestação por *S. zeamais*. A repelência varietal de BR 451 QPM seria uma maneira ecologicamente correta de minimizar as perdas pós-colheita e prolongar o armazenamento do milho.

A correlação das características morfofísicas dos grãos de milho como fator de resistência ainda não é bem compreendida, pois há vários parâmetros envolvidos na resistência, os quais, podem ser químicos e físicos, sendo difícil de encontrar um parâmetro chave (LANZANOVA et al., 2021). Assim, estudos futuros podem explorar a relação entre características físicas e químicas dos grãos e sua resistência a *S. zeamais*.

A longevidade máxima na geração F1 ocorreu em insetos criados na variedade Asteca, e para a geração F2 ocorreu em insetos criados na variedade Saboró, que tiveram as maiores médias. A resistência do pericarpo dos grãos pode estar relacionada com a obtenção de proteínas e amido pelos insetos, visto que pericarpos de grãos mais moles facilitam a obtenção desses nutrientes pelos insetos, características estas apresentadas pelo genótipo Saboró, esse atributo pode ter facilitado a obtenção de proteínas e amidos pelo *S. zeamais* em Saboró, e com isso possibilitado uma maior longevidade (RASHID et al., 2021). A nutrição de insetos que se alimentam de grãos armazenados é principalmente oriunda de amido e proteínas que são essenciais para o seu desenvolvimento (MAGGIONI et al., 2016). As menores longevidades foram

registradas em Roxo, Al-Bandeirantes e BR 451 QPM para geração F1, e em Pioneer 3898, Roxo e Guarani, para a geração F2.

Apesar das fêmeas de *S. zeamais* depositarem, geralmente, somente um ovo por grão, em casos de alta infestação pode ser encontrados mais ovos em um único grão (HONG et al., 2018; DANHO; HAUBRUGE 2019). Esses insetos que se desenvolveram em grãos com alta infestação, podem sofrer com competição por alimento, e por sua vez, apresentar um menor peso, e serem nutricionalmente debilitados (DANHO; HAUBRUGE 2019). Como houve alta infestação nas variedades Al-Bandeirantes e Pioneer 3898 pode ter ocorrido competição por alimento e isso ter afetado a sobrevivência dos insetos, levando a uma menor longevidade (GUEDES et al., 2010). A menor longevidade observada em Roxo e Guarani pode ter sido afetada pela composição dos grãos ou pela coloração devido a presença de compostos fenólicos, ou ainda, esses grãos podem não ter fornecido nutrientes suficientes para um maior período de sobrevivência dos insetos, ou possuírem nutrientes anti alimentares (MEDEIROS et al., 2017).

Ao analisar os parâmetros biológicos dos insetos, fica evidente que, com o passar das gerações, os efeitos de resistência ou suscetibilidade são maiores ou menores, dependendo dos genótipos utilizados. Alguns estudos que avaliaram o desempenho de variedades de milho na geração F2 de *S. zeamais*, mostram que o status de resistência ou suscetibilidade pode ser modificado com o passar das gerações (UGAGU et al., 2021; NWOSU et al., 2015 a).

As variedades Al-Bandeirantes e BR 451 QPM devem ser efetivamente utilizadas para minimizar, razoavelmente, a infestação de gorgulhos e os danos no milho armazenado. Essas mesmas cultivares, também, devem ser utilizadas visando a possibilidade de transferir caracteres de resistência a *S. zeamais* em outras variedades, e assim, reduzir os danos dessa praga aos grãos armazenados de milho. Portanto, os dois genótipos que se mostraram moderadamente resistentes, podem ser usados como fonte de resistência no melhoramento contra a infestação de *S. zeamais* em milho armazenado.

A suscetibilidade pode variar ao longo das gerações, destacando a importância de avaliações em longo prazo e a seleção de genótipos que podem ser usados para minimizar a infestação de grãos armazenados de milho. Em resumo, os resultados obtidos neste trabalho indicam que a resistência dos genótipos de milho Al-

Bandeirantes foi moderadamente resistente pois afetou drasticamente o número e insetos emergidos e reduziu a perda de massa de grãos na geração F2.

5. CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou que a resistência ao ataque do gorgulho do milho, *S. zeamais*, varia significativamente entre diferentes genótipos de milho. Alguns genótipos apresentaram maior capacidade de resistir ao ataque da praga, destacando a influência das características genéticas dos genótipos na interação desses insetos ao longo de duas gerações consecutivas.

A variedade de milho BRS 451 QPM mostrou indícios de resistência por meio do mecanismo de antixenose. A combinação de características como cor e dureza dos grãos parece reduzir o interesse dos gorgulhos em infestar e se alimentar dos grãos desse genótipo.

A cultivar AL-Bandeirantes demonstrou um efeito de antibiose sobre os insetos de *S. zeamais*, influenciando o número de adultos emergidos e o ciclo biológico médio. Esse efeito foi mais pronunciado na geração F2, sugerindo a possibilidade de reduzir o número de gerações durante as infestações. Isso contribui para minimizar as perdas econômicas nos locais de armazenamento de grãos.

Um achado importante deste estudo é que os efeitos observados nos genótipos de milho na geração F1 de *S. zeamais* não são conclusivos para determinar se um genótipo é resistente ou suscetível. Para uma avaliação precisa da resistência ou suscetibilidade, é fundamental conduzir testes ao longo de, no mínimo, duas gerações, permitindo uma avaliação mais completa dos efeitos e mecanismos de ação.

Como aplicação prática dos resultados observados neste trabalho, recomendamos a utilização dos genótipos de milho identificados como resistentes como uma alternativa ecologicamente correta para reduzir o aumento populacional de *S. zeamais* nos locais de armazenamento de grãos e minimizar uso de inseticidas químicos e perdas econômicas. Esses genótipos podem ser incorporados em programas de melhoramento genético convencional ou na engenharia genética de futuras cultivares comerciais, contribuindo para estratégias eficazes de controle da praga.

REFERÊNCIAS

- ACHEAMPONG, A.; AYERTEY, J. N.; EZIAH, V. Y.; IFIE, B. E. Susceptibility of selected maize seed genotypes to *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 81, p. 62-68, 2019.
- BADJI, A.; KWEMOI, D. B.; MACHIDA, L.; OKII, D.; MWILA, N.; AGBAHOUNGBA, S.; KUMI, F.; IBANDA, A.; BARARYENYA, A.; SOLEMANEGY, M.; ODONG, T.; WASSWA, P.; OTIM, M.; ASEA, G.; OCHWO-SSEMAKULA, M.; TALWANA, H.; KYAMANYWA, S.; RUBAIHAYO, P. Genetic basis of maize resistance to multiple insect pests: integrated genome-wide comparative mapping and candidate gene prioritization. **Genes**, v. 11, n. 6, p. 689, 2020.
- BELL-GAM, S. P.; NWOSU, L. C.; ILEKE, K. D.; AGUWA, U. O. Effect of X-ray irradiation on the F1 generation of *Sitophilus zeamais* Motschulsky and the germination rate of maize grain. **The Journal of Basic and Applied Zoology**, v. 82, n. 1, p. 1-9, 2021.
- BRILINGER, D.; WILLE, C. L.; MACHADO DA ROSA, J.; FRANCO, C. R.; CARISSIMI BOFF, M. I. Susceptibility of Brazilian maize landraces to the attack of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 88, p. 101677, 1 set. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101677>.
- DANHO, M.; HAUBRUGE, É. Comportement de ponte et stratégie reproductive de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Phytoprotection**, v. 84, n. 2, p. 59–67, 2003. <https://doi.org/10.7202/007808ar>.
- DEMISSIE, G.; TILAHUN, B.; DIDA, M.; TEKLEWOLD, A.; WEGARY, D. Evaluation of quality protein maize inbred lines for resistance to maize weevil *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: curculionidae) and other important agronomic traits. **Euphytica**, v. 205, n. 1, p. 137–150, 1 set. 2015. <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1412-5>.
- DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C. et al. **Métodos para análise de alimentos**. Suprema: Visconde do Rio Branco, 2012. 51-113p.
- FRAZÃO, C. A. V.; SILVA, P. R. R.; ALMEIDA, W. A. de; PONTUAL, E. V.; CRUZ, G. dos S.; NAPOLEÃO, T. H.; FRANÇA, S. M. de. Resistance of maize cultivars to *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 85, 2018. DOI [10.1590/1808-1657000552017](https://doi.org/10.1590/1808-1657000552017).
- GARCIA, L. C.; DE SOUZA, A. M.; BARKEMA, H. A.; BALDIM, F. S.; NETO, P. H. W.; ROCHA, C. H. Custo e lucro da produção de canola e milho nos Estados Unidos da América e Brasil. **Revista Conexão UEPG**, v. 17, n. 1, p. 1-17, 2021.
- GUEDES, N. M. P.; GUEDES, R. N. C.; CAMPBELL, J. F.; THRONE, J. E. Contest behaviour of maize weevil larvae when competing within seeds. **Animal Behaviour**, Elsevier, v. 79, n. 2, p. 281–289, 2010.

GUZZO, E.C.; ALVES, L.F.A.; ZANIN, A.; VENDRAMIN, J.D. Identificação de materiais de milho resistentes ao ataque de gorgulho *Sitophilus zeamais* (Mots., 1855) (Coleoptera: Curculionidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 69, n. 2, p. 69–73, 2002.

HIRUY, B.; GETU, E. Screening of some Maize Varieties for Resistance against the Maize weevils, *Sitophilus zeamais* (Motsch.). **International Journal of Entomology and Nematology**, v. 4, n. 1, p. 77-84, 2018.

HONG, K.; LEE, W.; PARK, Y.; YANG, J. H. First confirmation of the distribution of rice weevil, *Sitophilus oryzae*, in south Korea. **Journal of Asia-Pacific Biodiversity**, Elsevier, v. 11, n. 1, p. 69–75, 2018. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10505>.

JIMÉNEZ-GALINDO, J. C.; CASTILLO-ROSALES, A.; CASTELLANOS-PÉREZ, G.; OROZCO-GONZÁLEZ, F.; ORTEGA-ORTEGA, A.; PADILLA-CHACÓN, D.; BUTRÓN, A.; REVILLA, P.; MALVAR, R. A. Identification of Resistance to the Corn Weevil (*Sitophilus zeamais* M.) in Mexican Maize Races (*Zea mays* L.). **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 312, fev. 2023. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020312>.

KASOZI, L. C.; DERERA, J.; TONGOONA, P.; GASURA, E. Seed generation effect on quality of genetic information from maize (*Zea mays* L.) diallel cross for maize weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) resistance. **Euphytica**, v. 217, n. 6, p. 1-17, 2021.

KHAKATA, S.; MBUTE, F. N.; MWIMALI, M.; KARANJA, J.; HARVEY, J.; MWOLOLO, J. K. Post-harvest evaluation of selected inbred lines to maize weevil *Sitophilus zeamais* resistance. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 10, n. 5, p.105-114, 2018.

LANZANOVA, C.; AGAPE, C.; CASTORINA, G.; BALCONI, C.; ALFIERI, M.; LOCATELLI, D. P.; LIMONTA, L. Are variations in kernel-related morphometric and chemical parameters correlated with differences in *Sitophilus oryzae* attack in maize? **Seed Science and Technology**, v. 49, n. 2, p. 93-105, 2021.

LÓPEZ-CASTILLO, L. M.; SILVA-FERNÁNDEZ, S. E.; WINKLER, R.; BERGVINSON, D. J.; ARNASON, J. T.; GARCÍA-LARA, S. Postharvest insect resistance in maize. **Journal of Stored Products Research**, v. 77, p. 66–76, 1 jun. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.03.004>.

MAGGIONI, K.; SILVA, B. L.; XAVIER, F. Z.; MUNHAE, B. C.; DOURADO, B. R. L.; PAVAN, E. B. Performance of populations of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) on different varieties of maize. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 10, p. 873–881, 10 mar. 2016.

MARSARO JÚNIOR, A. L.; VILARINHO, A. A.; PAIVA, W. R. S. C. de.; BARRET, H. C. dos S. Resistência de híbridos de milho ao ataque de *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) em condições de armazenamento. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 6, n. 1, p. 45–50, 2008.

MEDEIROS, W. R.; SILVA, J. D. da C.; SILVA, P. R. R.; FILHO, J. E. G.; PADUA, L. E. de M.; FRANÇA, S. M. de. Resistência de genótipos de feijão-caupi *Vigna unguiculata* (L.) Walp. ao ataque do caruncho *Callosobruchus maculatus* (Fabr.) (Coleoptera: Chrysomelidae). **EntomoBrasilis**, v. 10, n. 1, p. 19–25, 28 abr. 2017. DOI [10.12741/ebrazilis.v10i1.650](https://doi.org/10.12741/ebrazilis.v10i1.650).

MIKAMI, A. Y.; CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; VENTURA, M. U. Resistance of maize landraces to the maize weevil *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). **Neotropical Entomology**, v. 41, n. 5, p. 404–408, 2012.

MWOLOLO, J. K.; MUGO, S.; TEFERA, T.; MUNYIRI, S. W. Evaluation of traits of resistance to postharvest insect pests in tropical maize. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 6, n. 13, p. 926–933, 2013.

NGOM, D.; FAUCONNIER, M. L., MALUMBA KAMBA, P., THIAW, C., BRÉVAULT, T., & SEMBÈNE, M. Morphophysical and biochemical traits involved in maize grain varietal susceptibility to the maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae)". **Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement**, v. 25, n2, p. 45-56, 2021.

NHAMUCHO, E.; MUGO, S.; GOHOLE, L.; TEFERA, T.; KINYUA, M.; MULIMA, E. Resistance of selected mozambican local and improved maize genotypes to maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky). **Journal of Stored Products Research**, v. 73, p. 115-124, 2017.

NUNES, M. P.; RIZENTAL, M. Preferência alimentar de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em variedades de milho transgênico. **Connection Line-Revista Eletrônica do Univag**, v.12, 2015.

NWOSU, C., L.; OLUKAYODE, A. C.; OLUDELE, O. E. Screening for new sources of resistance to *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) infestation in stored maize genotypes. **Journal of Crop Protection**, v.4, n.3, p. 277-290, 2015. (b)

ODOBI, P. A. Resistance status of fifteen elite maize varieties and influence of grain morpho-physical characters to infestation and damage by *Sitophilus zeamais*. **Nigerian Journal of Crop Science**, v.3, p. 24-30, 2016.

NWOSU, L. C.; ADEDIRE, C. O.; OGUNWOLU, E. O.; ASHAMO, M. O. Relative susceptibility of 20 elite maize varieties to infestation and damage by the maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **International Journal of Tropical Insect Science**. v. 35, n. 4, p.185-192, 2015. (a)

NWOSU, L.C. Chemical bases for maize grain resistance to infestation and damage by the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky. **Journal of Stored Products Research**, Elsevier, v. 69, p. 41–50, 2016.

PADILHA, A. C.; BOFF, M. I. C.; FRANCO, C. R.; WILLE, P. E.; BOFF, P.; ZANATTA, J. C.; MIQUELLUTI, D. 13770 - Agrobiodiversidade: avaliação da preferência do gorgulho do milho (*Sitophilus zeamais* Moth.) a grãos de populações

crioulas e de variedade de polinização aberta de milho. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, n. 2, 2013.

RASHID, M.; NAEEM, R. M.; KHAN, M.; ASHFAQ, M. Relative resistance of maize varieties against maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), (Coleoptera: Curculionidae). **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 58, p. 1169–1176, 21 set. 2021. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/21.45>.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT software**: changes and enhancements through release 6.12. Cary: Statistical Analysis System Institute, 1997. 1167p.

SSERUMAGA, J. P.; MAKUMBI, D.; OIKEH, O. S.; OTIM, M.; MACHIDA, L.; ANANI, B. Y.; NHAMUCHO, E.; BEYENE, Y.; MUGO, S. Evaluation of early-generation tropical maize testcrosses for grain-yield potential and weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) resistance. **Crop Protection**. v. 139, p. 105384, 2021.

SULEIMAN, M.; SANI, I.; YUSUF, A. M.; ABDULLAHI, B. K. Entomocidal activity of some plant extracts against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). **African Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 34, p. 1862-1869, 2019.

SULEIMAN, R.; WILLIAMS, D.; NISSEN, A.; BERN, C. J.; ROSENTRATER, K. A. Is flint corn naturally resistant to *Sitophilus zeamais* infestation? **Journal of Stored Products Research**, v. 60, p. 19–24, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.10.007>.

THRONE, J. E.; EUBANKS, M. W. Resistance of tripsacorn-introgressed maize lines to *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 64, p. 62–64, 2015.

TOSCANO, L. C.; BOIÇA J. R. A. L.; LARA, F. M.; WAQUIL, J. M. Resistência e mecanismos envolvidos em genótipos de milho em relação ao ataque do gorgulho, *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 28, n. 1, p. 141–146, 1999.

UGAGU, G. M.; NWOKE, B. E. B.; OPARA, N. K.; ONWUBUCHE, B. C.; ISIAKA, P. I.; NWOSU, L. C.; ELUWA, A. N.; AJAYI, O. A.; PETGRAVE, G. M.; AGUWA, U. O. Investigations on the inherent resistance of twenty-one maize varieties to maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky at f2 generation. **Asian Journal of Advances in Research**, p. 21–31, 31 maio 2021.

VI, T. X. T.; LE, H. D.; NGUYEN, V. T. T.; VAN SON, L. E.; CHU, H. M. Expression of the ZmDEF1 gene and α -amylase inhibitory activity of recombinant defensin against maize weevils. **Turkish Journal of Biology**, v. 41, n.1, p. 98-104, 2017.

CAPÍTULO 2

EFICÁCIA DA TEMPERATURA E DA RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE MILHO NO CONTROLE DE *Sitophilus zeamais* MOTSCHULSKY 1885 (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) EM CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO

RESUMO: *Sitophilus zeamais* é uma praga importante do milho, causando perdas de até 20% da produção armazenada. A temperatura e o grau de resistência das plantas são alguns dos principais fatores que influenciam o desenvolvimento e a reprodução desse inseto em grãos de milho armazenados. O objetivo desse estudo foi avaliar a influência da temperatura na resistência de genótipos de milho a *S. zeamais* em condições de armazenamento. O estudo foi realizado com oito genótipos de milho: Nutricional Embrapa, Cinquentinha, Palha Roxa, Sol da Manhã, Roxo, BR 451 QPM, Catingueira e Asteca Vermelho. Os grãos foram infestados com 20 insetos adultos não sexados e mantidos por 180 dias em temperaturas de 15, 20, 25 e 30 °C. Os resultados mostraram que a temperatura de 15 °C foi eficaz no controle de *S. zeamais*. A partir dos 60 dias, a emergência de insetos foi praticamente nula, nesta temperatura. Em temperaturas mais altas, a emergência dos insetos aumentou, o que levou a uma maior deterioração dos grãos e proliferação de fungos. Os genótipos Nutricional Embrapa e Asteca Vermelho apresentaram o menor número de insetos emergidos e menor perda de massa dos grãos. Além disso, o Nutricional Embrapa permaneceu por 180 dias sem a proliferação de fungos em seus grãos. Os resultados deste estudo indicam que a temperatura é um fator importante a ser considerado no controle de *S. zeamais*. A temperatura de 15 °C é uma opção eficaz para o controle dessa praga, mas pode não ser viável para alguns sistemas de armazenamento. Os genótipos Nutricional Embrapa e Asteca Vermelho por apresentarem menores perdas de qualidade dos grãos, podem ser indicados para seleção de genes e caracteres a serem usados no melhoramento genético de cultivares de milho. Concluímos que a combinação de temperatura e resistência de genótipos de milho pode ser uma estratégia eficaz para o controle de *S. zeamais*.

Palavras chaves: Calor, Frio, Armazenagem, Insetos pragas, Tempo, Grãos.

ABSTRACT: *Sitophilus zeamais* is an important corn pest, causing losses of up to 20% of stored production. Temperature and degree of plant resistance are some of the main factors that influence the development and reproduction of this insect in stored corn grains. The objective of this study was to evaluate the influence of temperature on the resistance of corn genotypes to *S. zeamais* under storage conditions. The study was carried out with eight corn genotypes: Nutricional Embrapa, Cinquentinha, Palha Roxa, Sol da Manhã, Roxo, BR 451 QPM, Catingueira and Azteca Vermelho. The grains were infested with 20 unsexed adult insects and kept for 180 days at temperatures of 15, 20, 25 and 30 °C. The results showed that the temperature of 15 °C was effective in controlling *S. zeamais*. From 60 days onwards, insect emergence was practically zero at this temperature. At higher temperatures, insect emergence increased, which led to greater grain deterioration and fungal proliferation. The Nutricional Embrapa and Azteca Vermelho genotypes showed the lowest number of insects emerged and the lowest loss of grain mass. Furthermore, Nutricional Embrapa remained for 180 days without the proliferation of fungi in its grains. The results of this study indicate that

temperature is an important factor to be considered in the control of *S. zeamais*. A temperature of 15 °C is an effective option for controlling this pest, but may not be viable for some storage systems. The Nutricional Embrapa and Azteca Vermelho genotypes, as they present lower losses in grain quality, can be recommended for the selection of genes and characters to be used in the genetic improvement of corn cultivars. We conclude that the combination of temperature and resistance of corn genotypes can be an effective strategy for controlling *S. zeamais*.

Keywords: Heat, Cold, Storage, Insect pests, Time, Grains.

1. INTRODUÇÃO

A produção agrícola de grãos cresce anualmente no Brasil, e entre os grãos produzidos se destaca o milho. O milho é um cereal considerado como produto estratégico para a segurança alimentar, sendo este produzido em várias regiões do mundo. O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de milho, ficando atrás somente Estados Unidos e China; além disso, a cultura do milho é a segunda mais produzida no Brasil, estando atrás somente da produção de soja (CONAB, 2023; CONTINI et al., 2019).

Os grãos produzidos na lavoura após a colheita seguem para a armazenagem onde ficam de três a seis meses (DEUNER et al., 2014). A deterioração dos grãos durante o período de armazenagem é causada pela interação de fenômenos físicos, químicos e biológicos, e a interação entre esses fenômenos está diretamente relacionada a fatores como temperatura, umidade relativa do ar, disponibilidade de oxigênio, impurezas, microrganismos, insetos pragas, roedores e aves (DIAS et al., 2020). Durante o armazenamento, os grãos estão sujeitos a perdas físicas. Essas perdas são causadas principalmente por insetos pragas, que impactam na perda de peso, causam a disseminação de fungos, deposição de resíduos, focos de calor e diminuição dos valores nutricionais e comerciais dos grãos (ROCHA et al., 2020).

Vinte por cento da perda na produção total de grãos de milho podem ser causadas por insetos pragas, são estimativas bastante alarmantes (ACHEAMPONG et al., 2019), na qual *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1885 (Coleoptera: Curculionidae) é um dos principais insetos pragas que causam perdas durante a armazenagem do milho. As perdas podem ser ainda maiores se o sistema de armazenagem é deficitário, o que é comum em países do continente africano (NAWAZ et al., 2017; HIRUY; GETU, 2018).

O milho é suscetível ao ataque de *S. zeamais*, tanto na lavoura, quanto no armazenamento, devido à capacidade de infestação cruzada desse inseto, ou seja, a infestação dos grãos já ocorre no campo. Quando chegam em armazéns conseguem condições ótimas de sobrevivência, e aumentam drasticamente sua população, (SULEIMAN et al., 2015; NORAMBUENA et al., 2016). Sendo assim, para manter a qualidade dos grãos e diminuir prejuízos é necessário realizar os processos de limpeza, secagem e manejo integrado de pragas de forma eficiente (FARIA et al., 2022).

A temperatura durante a armazenagem é um dos principais fatores que interferem na qualidade dos grãos e sementes armazenados. Baixas temperaturas reduzem a atividade enzimática do processo respiratório, prolongando a viabilidade de sementes, evitando também a proliferação de insetos e patógenos (PARAGINSKI et al., 2015; ZIEGLER et al., 2021). A grande maioria dos insetos pragas de grãos armazenados necessitam de temperaturas altas, na faixa de 25 a 33°C para seu desenvolvimento completo (SINGANO et al., 2020). Entretanto, esse desenvolvimento pode ser retardado ou paralisado, se a temperatura frequentemente ficar abaixo de 16 °C (QUIRINO et al., 2013; ZHANG et al., 2020).

O aumento de temperatura e umidade em uma unidade de armazenamento promove mudanças nas atividades enzimáticas e desestruturação nos sistemas de membranas celulares, devido à peroxidação lipídica provocada pelo aumento de formas reativas de oxigênio (STEFANELLO et al., 2015). Estudos realizados têm mostrado que baixas temperaturas por um período prolongado e uma baixa umidade podem causar quase 100% da mortalidade de *S. zeamais* em grãos armazenados (MARPAUNG, 2021; GOLÍĆ et al., 2021). São vários os métodos de controle de insetos pragas de grãos armazenados dentro do manejo integrado de pragas, além de estudos feitos com temperatura há estudos que investigam a resistência de grãos de milho a *S. zeamais* como método alternativo no controle desse inseto.

Frazão et al. (2018) avaliou a resistência de cinco cultivares de milho e seus efeitos na nutrição de *S. zeamais*, e constataram que a presença de inibidores de lectinas e tripsina influenciaram em um aumento da resistência das cultivares testadas, prolongando o ciclo biológico dos insetos e diminuindo o consumo de matéria seca dos grãos. Nwosu (2016) estudou substâncias químicas presentes em grãos de milho como um fator de resistência a *S. zeamais*, e verificou que fibra bruta, ácido fenólico e inibidor de tripsina conferem alta resistência a *S. zeamais*, mediante redução no número de insetos emergidos. Isso pode ter ocorrido devido a mortalidade em fase de ovo ou

larva, ou ainda por causa da baixa fertilidade das fêmeas. Consequentemente, os insetos não chegaram à fase adulta, e assim diminuiu a emergência de insetos na massa de grãos. A antibiose são os efeitos da resistência que causam mudanças na biologia do inseto como aumento da mortalidade, prolongamento do ciclo de vida.

As características morfométricas dos grãos podem conferir resistência aos insetos pragas de cereais. Os aspectos físicos dos grãos podem causar efeitos de antixenose nos insetos, como a cor, a dureza e a espessura dos grãos. Foi demonstrado anteriormente que a cor é um fator de resistência dos grãos a infestação de *S. zeamais* (UGAGU et al., 2021; NGOM et al., 2021). Algumas cores predisõem os grãos a infestação de *S. zeamais*, enquanto outras são repelentes (UGAGU et al., 2021; NGOM et al., 2021; NWOSU et al., 2015). Em um estudo pesquisadores sugeriram que o brilho dos grãos de milho da cor branco, possivelmente tem efeito repelente em adultos de *S. zeamais*, ou são menos atrativos (NWOSU et al., 2015). A combinação de cores em uma variedade de milho também parece desinteressar o adulto de *S. zeamais* a se alimentar durante a infestação (NWOSU et al., 2015).

Em outro estudo, os pesquisadores constataram que a cor do grão não parece ser importante para a resistência a *S. zeamais*, porém, observaram que variedades amarelas podem limitar a entrada de adultos de *S. zeamais* nos grãos (JIMÉNEZ-GALINDO et al., 2023). Esse desinteresse foi possivelmente devido a presença de ácido ferúlico, o qual está localizado no pericarpo, e a camada de aleurona, a qual é especialmente encontrada nas variedades de cores amarelas, as quais se mostraram resistentes nos estudos de Ngom et al. (2021) e Jiménez-Galindo et al. (2023). Esse composto fenólico presente nos grãos de milho está envolvido na resistência à formação de tecidos superficiais, ação de antixenose, e propriedades antialimentares tóxicas que conferem ação de antibiose (NGOM et al., 2020).

A dureza dos grãos pode ser outro atributo relacionado aos efeitos de antixenose. Essa barreira mecânica se dá pela espessura e composição do pericarpo e do grão em geral, podendo dificultar a alimentação de *S. zeamais*. Além disso, as fêmeas no ato da postura precisam escavar profundamente nos grãos para depositar seus ovos, e grãos duros pode desinteressar esse comportamento de postura (BRILINGER et al., 2020; SULEIMAN et al., 2015; DEMISSIE et al., 2015). A emergência de *S. zeamais* pode diminuir devido a essa característica física dos grãos, tornando-os resistentes (THRONE; EUBANKS 2015).

A correlação das características morfofísicas de grãos de milho como fator de resistência ainda não é bem compreendida, pois há vários parâmetros envolvidos na resistência de genótipos de milho, que podem ser químicos e/ou físicos, sendo difícil de encontrar um parâmetro chave (LANZANOVA et al., 2021). O que se sabe, atualmente, é que a resistência de grãos de milho está relacionada às características quantitativas, mais do que característica de um único gene (LOCATELLI et al., 2019).

Nhamucho et al. (2017) testaram dezessete genótipos de milho quanto a sua resistência a *S. zeamais*. Entre os materiais, sete eram híbridos experimentais, um híbrido liberado, duas variedades de polinização aberta, e três variedades crioulas, além de duas variedades de milho resistentes e duas variedades suscetíveis. Dos genótipos testados, os autores constataram que, aqueles que apresentavam alto conteúdo proteico eram resistentes enquanto os com alto teor de amido mostravam-se suscetíveis; entre os resistentes se destacaram as variedades crioulas. Entretanto, Nwosu et al. (2015) atribuíram que a suscetibilidade de um genótipo está relacionada com teor de proteínas e amidos, sendo os grãos que contêm maior porcentagem de proteína (3 a 4%) considerados mais suscetíveis.

Em um estudo de HIRUY e GUTE (2018) entre as variedades resistentes, a maioria, quatro entre seis eram variedades de qualidade proteica. Os autores desse trabalho atribuíram a resistência dessas variedades a *S. zeamais* possivelmente devido aos efeitos dos constituintes proteicos como triptofano e lisina, os quais podem afetar adversamente a alimentação, preferência hospedeira, crescimento ou desenvolvimento do inseto. Os teores de proteína podem afetar negativamente o número de ovos nos grãos e sua progênie, já lipídios então correlacionados com suscetibilidade do material atacado e os compostos fenólicos afetam diretamente a progênie de *S. zeamais* (MARSARO JÚNIOR et al., 2008).

Além dos compostos alimentares influenciarem a resistência de genótipos de milho, a presença de compostos antialimentares, como a presença de inibidores de amilase, podem afetar negativamente o desenvolvimento de *S. zeamais* (NWOSU, 2016). A presença desse inibidor foi relatada como fator de resistência em grãos de milho, pois prolongou o ciclo biológico do inseto, contribuindo para um menor número de gerações de insetos emergindo na massa de grãos. Além disso, foi notado que variedades suscetíveis apresentavam menores quantidade de inibidores de amilase, o que reforça a ideia que a presença dessa substância está diretamente relacionada com a resistência de grãos de milho (MARSARO JÚNIOR et al., 2005).

Alguns componentes químicos de grãos, como glicoproteínas ricas em hidroxiprolina, peroxidases, proteinases e inibidores de amilase representam uma fonte potencial de resistência natural (NAWROT et al., 2010). Os inibidores enzimáticos impedem a digestão, pois afetam as enzimas digestivas do intestino dos insetos, que desempenham um papel fundamental na digestão de amido e proteínas, a principal fonte de energia e alimento para insetos pragas de grãos armazenados (MAGGIONI et al., 2016). Desta forma, os inibidores enzimáticos derivados de plantas são compostos promissores para novos sistemas de biocontrole de pragas (VI et al., 2017; LEMIC et al., 2020). O objetivo desse estudo foi avaliar a influência da temperatura e da resistência de genótipos de milho na desinfestação de *Sitophilus zeamais* em seis meses de armazenamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Amostragem e Monitoramento de Insetos da Universidade Federal da Grande Dourados, em câmaras climatizadas do tipo BOD (Marca: SolidSteel; Modelo: SSBODu 342L), com temperaturas de 15, 20, 25 ou 30°C (± 1) (CANEPPELE et al., 2010). A umidade relativa do ar (URA, %) e a fotofase foram mantidas em $0 \pm 5\%$ e 0 horas, respectivamente, simulando um ambiente de armazenamento (MARSARO JÚNIOR et al., 2008).

Duzentas gramas de cada genótipo foram pesados, sendo milhos crioulos: Cinquentinha, Palha Roxa, Sol da Manhã, Roxo, Asteca Vermelho, Catingueira e variedades melhoradas geneticamente Nutricional Embrapa e BR 451 QPM. Os grãos foram acondicionados em potes de plásticos transparentes de 200 mL, identificados e infestados com 20 insetos adultos não sexados da criação massal, criados em uma variedade convencional DKB 290, com idade de aproximadamente sete dias. Cada tratamento teve quatro repetições.

Os frascos permaneceram com as massas de grãos e os insetos por 180 dias, e as avaliações ocorreram a cada 30 dias (30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias) (ALMEIDA FILHO et al., 2002).

As avaliações consistiram na determinação dos seguintes parâmetros: Número de insetos emergidos - os insetos foram contados um a um, manualmente, com auxílio

de uma pinça entomológica; Peso dos insetos - os insetos foram depositados em frascos plásticos e pesados com analítica de precisão de (250, 0,0001g, M214-Ai). Peso dos grãos - a massa dos grãos foi determinada através de pesagem com balança semianalítica de precisão de 0,001 g; Peso de resíduos - os resíduos dos grãos ocasionados pela alimentação dos insetos foram separados dos grãos através de uma peneira com malha contendo furos de 4,0 x 10 mm e 1,75 x 22 mm. A massa dos resíduos foi determinada através de pesagem com balança semianalítica de precisão de 0,001 g (ANTUNES et al., 2011).

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os dados demonstraram distribuição normal pelo teste de Lilliefors ($p \leq 0,05$), e homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett ($p \leq 0,05$). Os resultados foram submetidos a análise de variância adotando uma probabilidade de 5%; após isso, foram realizados teste de Tukey e de regressão a 5% de probabilidade, com o auxílio do Software estatístico Genes (CRUZ, 2013).

Análises químicas dos grãos foram feitas para as variedades mais importantes sendo estas Catingueira, Cinquentinha, Asteca Vermelho, Nutricional Embrapa e BR 451 QPM, as quais se destacaram com resultados contrastantes. A seleção das variedades analisadas para composição química foi baseada em critérios específicos relacionados ao objetivo principal da pesquisa, excluindo outras por não se enquadrarem nesses critérios. Além disso a quantidade e disponibilidade de recursos financeiros foi limitada, impossibilitando a análise completa de todas as variedades. As análises químicas foram realizadas, para proteína, amido e lipídios totais seguindo as metodologias de Detmann et al., (2012). Os dados foram expressos em porcentagem (%). As análises químicas foram conduzidas em laboratório de Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados.



Figura 1- Genótipos de milho Nutricional Embrapa, Cinquentinha, Palha Roxa, Sol da Manhã, Roxo, BR 451 QPM, Catingueira e Asteca Vermelho. Foto: Diaine Cortese.

3. RESULTADOS

3.1 Número de insetos emergidos

Na temperatura de 15°C, os genótipos não apresentaram diferenças estatísticas entre sessenta e noventa dias de armazenamento, e aos cento e vinte dias não houve avaliação, pois não foi constatado insetos emergidos na massa de grãos. A temperatura de 15°C não permitiu o desenvolvimento dos insetos independentemente do genótipo usado para alimentação e oviposição (Tabela 1).

Na temperatura 15°C, a variedade BR 451 QPM teve a maior média de insetos emergidos com 30,75 insetos, porém foi estatisticamente diferente dos Palha Roxa e Cinquentinha os quais tiveram menor média. O genótipo BR 451 QPM, também apresentou maior média na temperatura 25°C com 59,5 insetos para trinta dias, na qual diferiu estatisticamente de todos os demais genótipos. Em sessenta dias de armazenamento, na temperatura de 25°C, BR 451 QPM também teve maior média de insetos com 282,5 insetos (Tabela 1).

Aos noventa dias de armazenamento, a variedade BR 451 QPM já estava contaminada com fungos na temperatura de 25°C, e aos cento e vinte dias de armazenamento na temperatura de 30°C, os grãos estavam todos mofados,

impossibilitando a avaliação. Esse grande número de insetos emergidos no genótipo BR 451 QPM, pode ser observado em quase todas as temperaturas (Tabela 1).

Cinquentinha aos cento e vinte dias apresentou o maior número de insetos emergidos na temperatura de 20°C com uma média de 336,75 insetos. Aos cento e vinte dias, na temperatura de 30°C, essa variedade mofou impossibilitando a avaliação.

Na temperatura de 20°C, Catingueira teve a maior média de insetos emergidos 53,75, o qual diferiu estatisticamente de todos os demais genótipos. Esse genótipo também apresentou maior média de insetos na temperatura de 30°C, com 39,75 insetos, em trinta dias de armazenamento.

Asteca Vermelho teve o menor número de insetos emergidos em trinta, sessenta e noventa dias de armazenamento, nas temperaturas de 20 e 30°C, respectivamente.

Para a temperatura de 25°C, Nutricional Embrapa teve a menor média para essa temperatura com somente 17 insetos emergidos, aos trinta dias de armazenamento. Na temperatura de 25°C aos 60, 90, 120, 150 e 180 dias Nutricional Embrapa se manteve com o menor número de insetos, sendo o único genótipo de milho a chegar a 180 dias de armazenamento sem mofar os grãos, apesar do desenvolvimento dos insetos.

Tabela 1: Número de adultos emergidos de *Sitophilus zeamais* (média) em oito genótipos de milho (NE-Nutricional Embrapa, CI-Cinquentinha, PR-Palha Roxa, SM-Sol da Manhã, RO-Roxo, BR-BR 451 QPM, CA-Catingueira, AV-Asteca Vermelho) em quatro temperaturas e em seis tempo de armazenamento.

Genótipo	Temperatura				P value			
	15	20	25	30	T	L	Q	
30	NE	27,75 ab*	22,75 bc	17 b	23 b	0,096	-	-
	CI	16,25 b	33,5 b	19,25 b	30,5 ab	<0,001	0,035	0,317
	PR	17 b	28 bc	19,5 b	37 a	<0,001	<0,001	0,278
	SM	19,5 ab	27 bc	17,5 b	29,25 ab	0,015	-	-
	RO	19,75 ab	22,5 bc	18,25 b	19,75 b	0,787	-	-
	BR	30,75 a	20 c	59,5 a	20 b	<0,001	0,588	<0,001
	CA	20 ab	53,75 a	19,75 b	39,75 a	<0,001	0,061	0,023
	AV	18,75 ab	18,5 c	18,25 b	20,25 b	0,965	-	-
<i>P value</i>	0,006	<0,001	<0,001	<0,001				
60	NE	4,5 a	8,75 a	8,5 b	118,75 ab	0,003	0,002	0,036
	CI	2,75 a	39 a	25,75 b	129,5 ab	0,003	0,001	0,180
	PR	2,75 a	36,25 a	39,75 b	227 a	<0,001	<0,001	0,002
	SM	0,5 a	9 a	20 b	177 ab	<0,001	<0,001	0,003
	RO	0,25 a	2,75 a	67 b	191,5 ab	<0,001	<0,001	0,016
	BR	3,5 a	6,75 a	282,5 a	206,5 a	<0,001	<0,001	0,116
	CA	1,5 a	15,25 a	205,5 a	147 ab	<0,001	<0,001	0,151
	AV	1 a	3,25 a	27,75 b	90,5 b	0,044	0,010	0,229
<i>P value</i>	1	0,936	<0,001	0,001				

90	NE	2,75 a	132,5 bc	60 ab	155,5 bc	0,001	0,004	0,567
	CI	0,5 a	163,5 abc	145,25 a	298,75 a	<0,001	<0,001	0,873
	PR	0	279,25 a	121,75 ab	331,5 a	<0,001	<0,001	0,246
	SM	0	106,25 c	101,25 ab	105,5 c	0,031	0,090	0,021
	RO	0	165,75 abc	169,5 a	266,75 ab	<0,001	<0,001	0,253
	BR	0,75 a	245 ab	-	294,5 a	<0,001	<0,001	0,401
	CA	0	154 abc	-	110,25 c	<0,001	-	-
	AV	0	135,75 bc	116,5 ab	77,25 c	0,009	0,114	0,004
	P value	1	<0,001	<0,001	<0,001			
120	NE	0	189,25 ab	38,25 bc	323 ab	<0,001	<0,001	0,182
	CI	0	336,75 a	145,25 abc	-	<0,001	-	-
	PR	0	-	268,25 a	88,25 cd	<0,001	-	-
	SM	0	204,5 ab	166,5 ab	252 ab	<0,001	<0,001	0,097
	RO	0	218,25 ab	-	364,5 a	<0,001	-	-
	BR	0	148,75 bc	-	-	0,006	-	-
	CA	0	236,5 ab	-	190,75 bc	<0,001	-	-
	AV	0	229,75 ab	250,75 a	201 bc	<0,001	<0,001	<0,001
	P value	0	<0,001	<0,001	<0,001			
150	NE	0	-	113	-	<0,001	-	-
	CI	0	-	-	-	-	-	-
	PR	0	-	-	31 cd	0,721	-	-
	SM	0	-	-	94,25 bcd	0,008	-	-
	RO	0	-	-	266 a	<0,001	-	-
	BR	0	-	-	-	-	-	-
	CA	0	-	-	114 bc	<0,001	-	-
	AV	0	-	-	193,5 ab	<0,001	-	-
	P value	0	-	0,007	-			
180	NE	0	-	117,5	<0,001	-	-	-
P value	0	-	<0,001	-				

*Médias não seguidas por mesma letra, na coluna, diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey. (-) Não houve avaliação devido a impossibilidade de avaliação dos grãos que mofaram. (P value) probabilidade do teste F 0,05 para (T) Valor de temperatura dentro de cada genótipo. (L) desdobramento de temperatura dentro de cada genótipo para o ajuste de equação linear. (Q) desdobramento de temperatura dentro de cada genótipo para o ajuste de quadrática.

Os genótipos Palha Roxa, Cinquentinha, BR 451 QPM e Catingueira tiveram interação significativa com as temperaturas e com o número de insetos emergidos aos trinta dias de armazenamento. Palha Roxa e Cinquentinha ajustaram uma equação linear crescente, em que, ao aumentar a temperatura, aumentou-se o número de insetos emergidos (Figura 2).

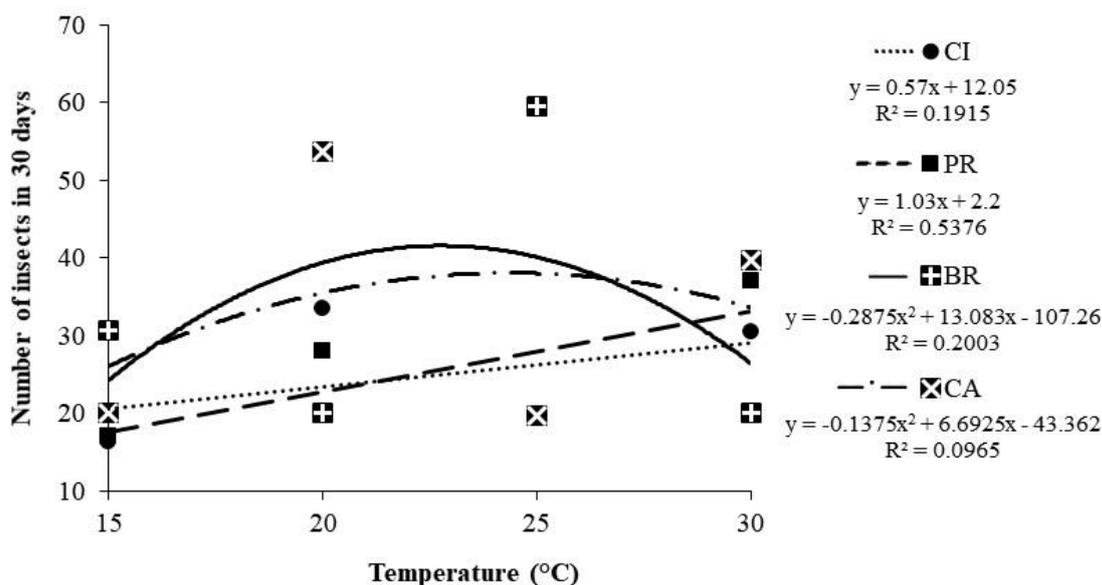


Figura 2: Número total de *Sitophilus zeamais* emergidos em quatro genótipos de milho (CI-Cinquentinha, PR-Palha Roxa, BR-BR 451 QPM, CA-Catingueira), em quatro temperaturas (15, 20, 25 e 30°C), para trinta dias de armazenamento.

Cinquentinha teve o maior número de insetos emergidos em 30°C, com seu ponto de máxima em 30°C, onde a média estimada é de 29,15 insetos emergidos. Palha Roxa, em 30°C, atingiu seu ponto de máxima com uma média de 33,10 insetos emergidos. O genótipo BR 451 QPM apresentou maior número de insetos emergidos em 25°C, com média de 59,5 insetos. Catingueira apresentou maior número de insetos emergidos em 20°C, com média de 53,75 insetos. Todos esses valores são referentes a trinta dias de armazenamento (Figura 2).

Os genótipos Asteca Vermelho e Cinquentinha tiveram um aumento exponencial crescente no número de insetos emergidos com o aumento da temperatura (Figura 3). O maior número de insetos emergidos em Asteca Vermelho e Cinquentinha foi na temperatura de 30°C, com suas respectivas médias de 90,5 e 129,5 insetos, e seus menores valores foram registrados na temperatura de 15°C, com as médias de 1 e 2,75, respectivamente. Entretanto, os genótipos BR 451 QPM e Catingueira tiveram maior média na temperatura de 25°C e os menores valores de insetos emergidos na temperatura de 15°C. Os genótipos Nutricional Embrapa, Palha Roxa, Sol da Manhã e Roxo tiveram maior número de insetos emergidos também na temperatura de 30°C, sendo que todos tiveram um baixo número de insetos nas demais temperaturas (Figura 3).

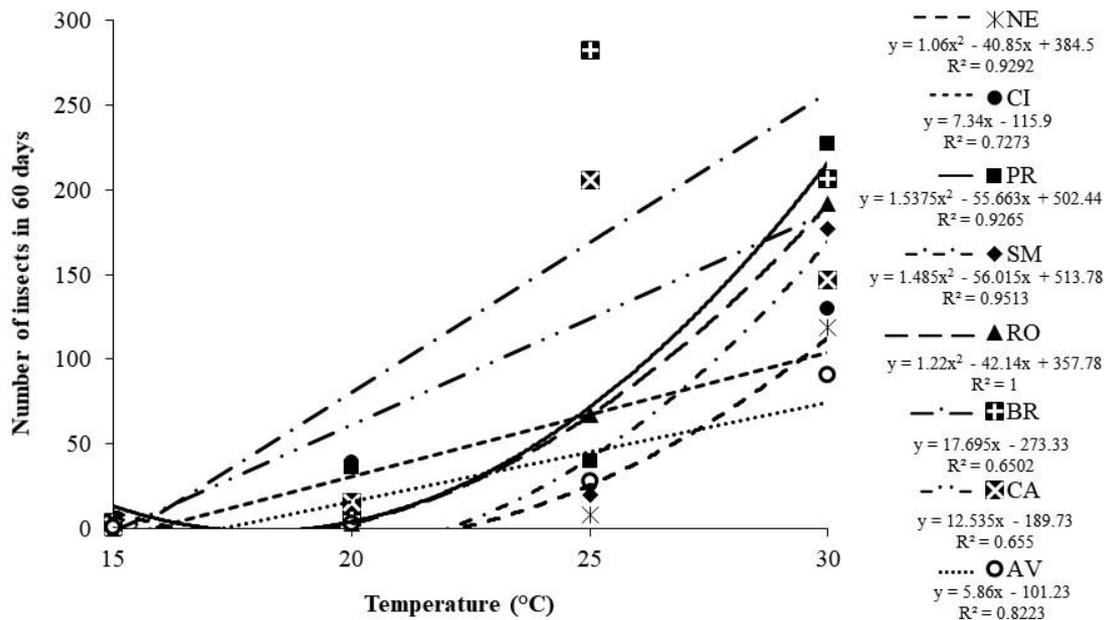


Figura 3: Número total de *Sitophilus zeamais* emergidos em oito genótipos de milho (NE-Nutricional Embrapa, CI-Cinquentinha, PR-Palha Roxa, SM-Sol da Manhã, RO-Roxo, BR-BR 451 QPM, CA-Catingueira, AV-Asteca Vermelho), em quatro temperaturas (15, 20, 25 e 30°C), para sessenta dias de armazenamento.

Em noventa dias de armazenamento, somente dois genótipos de milho tiveram diferenças significativas entre as quatro temperaturas (Figura 4). Nutricional Embrapa e Cinquentinha se ajustaram a uma equação linear crescente, mostrando que o número de insetos emergidos aumentou conforme aumentou a temperatura. Para o genótipo Nutricional Embrapa, a estimativa da equação mostra que em 30°C a emergência de insetos pode chegar a 145,55 insetos em noventa dias de armazenamento. No genótipo Cinquentinha, em 30°C, pode chegar a 283,47 insetos emergidos. Para mesmo tempo de armazenamento na temperatura de 15°C, Nutricional Embrapa teve média de 2,75 insetos e Cinquentinha 0,5 insetos emergidos.

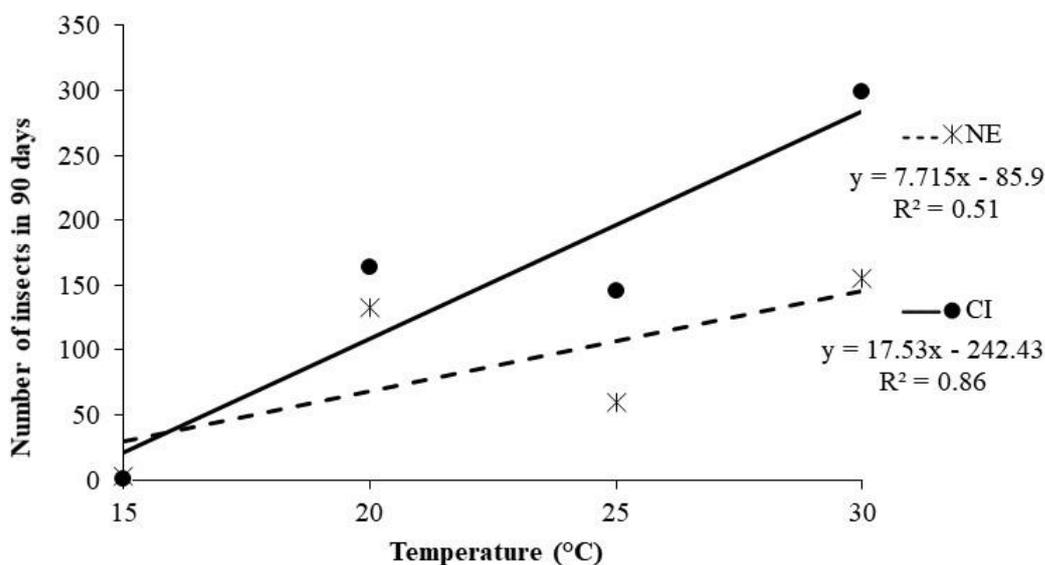


Figura 4: Número total de *Sitophilus zeamais* emergidos em dois genótipos de milho (NE-Nutricional Embrapa, CI-Cinquentinha), em quatro temperaturas (15, 20, 25 e 30°C), para noventa dias de armazenamento.

3.2 Peso de insetos

O peso dos insetos não diferiu estatisticamente entre as variedades de milho nas temperaturas 15°C, 20°C e 25°C, aos trinta dias de armazenamento. Somente na temperatura de 30°C houve diferenças significativas, pois, Sol da Manhã teve o maior valor médio para o peso dos insetos (0,29 gramas), diferindo estatisticamente de Roxo, BR 451 QPM, Catingueira, Asteca Vermelho e Nutricional Embrapa o quais tiveram menor valores para peso de insetos (Tabela 2).

Após sessenta dias, nas temperaturas de 15°C e 20°C não houve diferença entre o peso dos insetos nas diferentes variedades de milho. Na temperatura de 25°C, o genótipo BR 451 QPM teve a maior média para o peso dos insetos (0,94 gramas), o qual, diferiu estatisticamente de Asteca Vermelho, Roxo, Sol da Manhã, Palha Roxa, Ciquentinha e Nutricional Embrapa, esse último teve menor peso nessa mesma temperatura, com uma média de 0,02 gramas.

Insetos criados na variedade Palha Roxa apresentaram os maiores pesos corporais, nos diferentes tempos de armazenamento e temperaturas (aos sessenta dias a 30°C, aos noventa dias aos 20°C e aos cento e vinte dias aos 25°C) (Tabela 2). Asteca Vermelho na temperatura de 30°C, após sessenta dias, teve a menor média no peso dos insetos com 0,29 gramas.

Aos noventa dias, na temperatura de 20°C, Sol da Manhã teve menor peso dos insetos, com uma média de 0,34 gramas. Na temperatura de 25°C, Roxo teve a maior

média com 0,54 gramas no peso dos insetos. Na temperatura de 30°C, Cinquentinha teve a maior média, com 1,03 gramas para peso dos insetos. Sol da Manhã para mesma temperatura teve o menor peso dos insetos, com uma média 0,25 gramas.

Em cento e vinte dias BR 451 QPM teve menor peso dos insetos, diferindo de todos os demais genótipos, com uma média de 0,62 gramas na temperatura de 20°C. Cinquentinha, para 20°C, teve maior média, com 1,18 gramas. Na temperatura de 25°C, Nutricional Embrapa teve menor média no peso de insetos, com uma média de 0,14 gramas. Porém, na temperatura de 30 °C, Nutricional Embrapa teve maior peso para insetos, com média de 1,24 gramas.

Número de adultos emergidos de *Sitophilus zeamais* (média) em oito genótipos de milho (NE-Nutricional Embrapa, CI-Cinquentinha, PR-Palha Roxa, SM-Sol da Manhã, RO-Roxo, BR-BR 451 QPM, CA-Catingueira, AV-Asteca Vermelho) em quatro temperaturas e em seis tempo de armazenamento.

Tabela 2: Peso médio de *Sitophilus zeamais* emergidos de oito genótipos de milho (NE-Nutricional embrapa, CI-Cinquentinha, PR-Palha Roxa, SM-Sol da Manhã, RO-Roxo, BR-BR 451 QPM, CA-Catingueira, AV-Asteca Vermelho) em quatro temperaturas e em seis tempo de armazenamento.

	Genótipo	Temperatura				P value		
		15	20	25	30	T	L	Q
30	NE	0,04 a	0,06 a	0,06 a	0,06 b	0,988	-	-
	CI	0,06 a	0,10 a	0,06 a	0,12 ab	0,708	-	-
	PR	0,06 a	0,08 a	0,05 a	0,13 ab	0,556	-	-
	SM	0,07 a	0,07 a	0,07 a	0,29 a	<0,001	<0,001	0,006
	RO	0,02 a	0,06 a	0,07 a	0,06 b	0,858	-	-
	BR	0,08 a	0,05 a	0,22 a	0,04 b	0,006	-	-
	CA	0,02 a	0,16 a	0,07 a	0,11 b	0,105	-	-
	AV	0,03 a	0,05 a	0,08 a	0,04 b	0,851	-	-
	<i>P value</i>	0,948	0,551	0,084	<0,001			
60	NE	0,01 a	0,03 a	0,02 b	0,44 bcd	<0,001	<0,001	0,003
	CI	0,01 a	0,12 a	0,07 b	0,36 cd	<0,001	<0,001	0,200
	PR	0,007 a	0,11 a	0,12 b	1,08 a	<0,001	<0,001	<0,001
	SM	0,002 a	0,02 a	0,07 b	0,29 d	0,007	0,002	0,117
	RO	0,001 a	0,008 a	0,21 b	0,59 bc	<0,001	<0,001	0,005
	BR	0,009 a	0,01 a	0,94 a	0,68 b	<0,001	<0,001	0,050
	CA	0,004 a	0,04 a	0,76 a	0,48 bcd	<0,001	<0,001	0,017
	AV	0,002 a	0,01 a	0,10 b	0,29 d	0,009	0,001	0,192
	<i>P value</i>	1	0,796	<0,001	<0,001			
90	NE	0,01 a	0,44 b	0,19 ab	0,48 bc	0,006	0,015	0,487
	CI	0,002 a	0,66 ab	0,43 ab	1,03 a	<0,001	<0,001	0,767
	PR	0,001 a	0,93 a	0,37 ab	0,99 a	<0,001	<0,001	0,138
	SM	0	0,34 b	0,31 ab	0,25 c	0,085	-	-

	RO	0	0,68 ab	0,54 a	0,84 ab	<0,001	<0,001	0,069
	BR	0,002 a	0,76 ab	-	0,93 ab	<0,001	<0,001	0,423
	CA	0	0,51 ab	-	0,36 c	<0,001	-	-
	AV	0	0,37 b	0,37 ab	0,31 c	0,038	0,050	0,040
	P value	1	0,001	0,001	<0,001			
120	NE	0	0,70 a	0,14 c	1,24 a	<0,001	<0,001	0,214
	CI	0	1,18 a	0,74 ab	-	<0,001	-	-
	PR	0	-	0,87 a	0,25 bc	<0,001	-	-
	SM	0	0,71 a	0,54 abc	0,92 ab	<0,001	<0,001	0,291
	RO	0	1,04 a	-	1,24 a	<0,001	-	-
	BR	0	0,62 ab	-	-	0,009	-	-
	CA	0	0,87 a	-	0,59 abc	<0,001	-	-
	AV	0	0,77 a	0,76 ab	0,66 abc	<0,001	0,005	0,006
		P value	0	<0,001	<0,001	<0,001		
150	NE	0	-	0,35	-	<0,001	-	-
	PR	0	-	-	0,08 bc	0,785	-	-
	SM	0	-	-	0,29 bc	0,006	-	-
	RO	0	-	-	0,95 a	<0,001	-	-
	CA	0	-	-	0,38 b	<0,001	-	-
	AV	0	-	-	0,25 bc	0,028	-	-
	P value	0	-	0,003	<0,001			
180	NE	0	-	0,385	<0,001	-	-	-
	P value	0	-	<0,001	-			

*Médias não seguidas por mesma letra, na coluna, diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey. (-) Não houve avaliação devido a impossibilidade de avaliação dos grãos que mofaram. (P value) probabilidade do teste F 0,05 para (T) Valor de temperatura dentro de cada genótipo. (L) desdobramento de temperatura dentro de cada genótipo para o ajuste de equação linear. (Q) desdobramento de temperatura dentro de cada genótipo para o ajuste de quadrática.

A variedade Sol da Manhã apresentou o maior peso de insetos na temperatura de 30°C, com uma média de 0,29 gramas. Entretanto, a variedade BR 451 QPM teve maior média de peso de insetos em 25°C, com 0,22 gramas para trinta dias de armazenamento (Figura 5). Na temperatura de 30°C, BR 451 QPM teve o menor peso de insetos, com 0,04 gramas. Esse resultado condiz com o número de insetos emergidos nesse genótipo (Tabela 1).

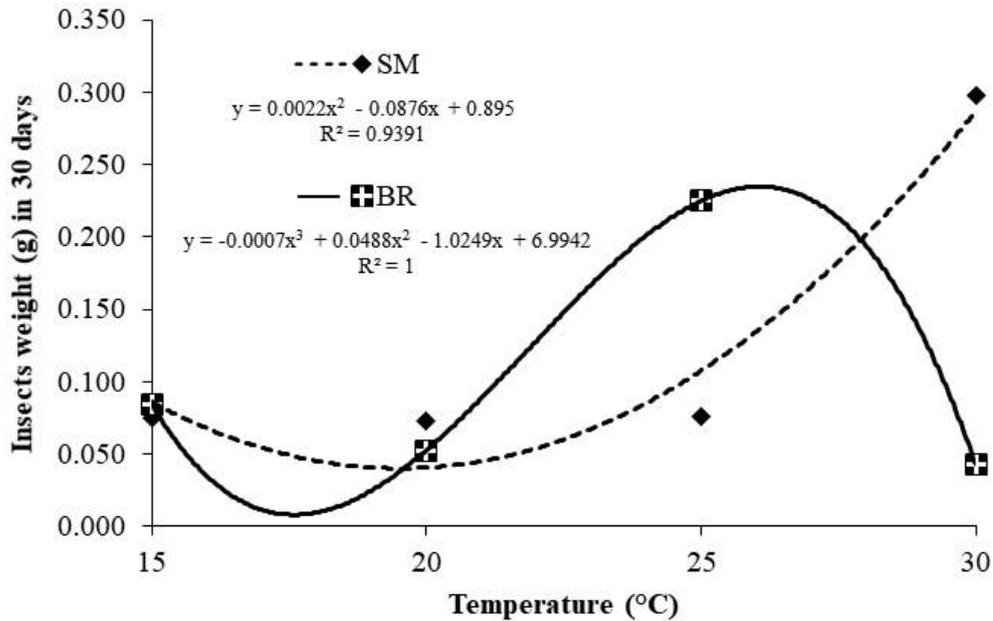


Figura 5: Peso total de *Sitophilus zeamais* emergidos em dois genótipos de milho (SM-Sol da Manhã, BR-BR 451 QPM), em quatro temperaturas (15, 20, 25 e 30°C), para trinta dias de armazenamento.

Em sessenta dias de armazenamento, as variedades de milho Cinquentinha, Sol da Manhã e Asteca Vermelho apresentaram um crescimento linear no peso dos insetos em virtude do aumento da temperatura. Para peso dos insetos na temperatura de 30°C, esses genótipos tiveram médias de 0,36, 0,29 e 0,29 gramas respectivamente. Os menores pesos foram registrados em 15°C para esses genótipos com médias de 0,01, 0,002 e 0,002 (Figura 6).

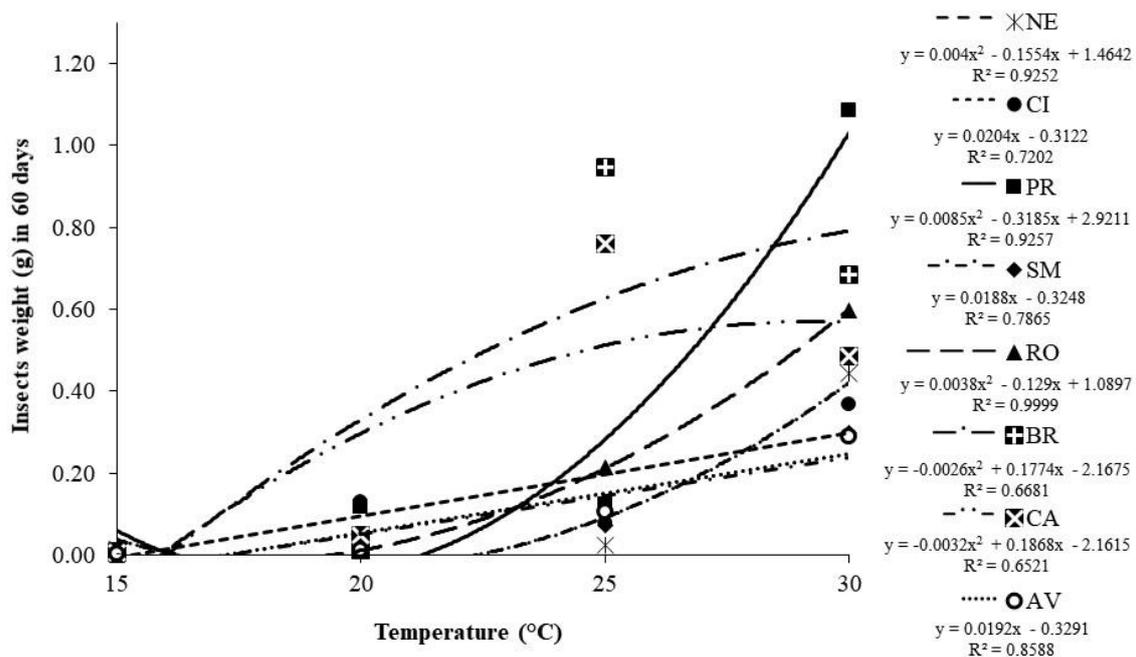


Figura 6: Peso total de *Sitophilus zeamais* emergidos em oito genótipos de milho (NE-Nutricional Embrapa, CI-Cinquentinha, PR-Palha Roxa, SM-Sol da Manhã, RO-Roxo, BR-BR 451 QPM, CA-Catingueira, AV-Asteca Vermelho), em quatro temperaturas (15, 20, 25 e 30°C), para sessenta dias de armazenamento.

Os genótipos Catingueira e BR 451 QPM tiveram maiores médias no peso dos insetos, na temperatura de 25°C, com média de 0,76 e 0,94 gramas, respectivamente, e menor média para o peso dos insetos em 15°C, com médias de 0,004 e 0,009 gramas. Os genótipos Nutricional Embrapa, Palha Roxa e Roxo apresentaram menores médias em 15°C e 20°C; porém, a partir de 25°C, o peso dos insetos aumentou consideravelmente, ajustando uma curva de crescimento. Em 30°C essas variedades atingiram maiores médias sendo estas de 0,44, 1,08 e 0,59 gramas do peso total de insetos em sessenta dias de armazenamento (Figura 6).

Em noventa dias de armazenamento, o peso total de insetos para os genótipos Nutricional Embrapa, Cinquentinha e Palha Rocha foi ajustado em uma equação linear crescente, em que na temperatura de 15°C teve menor peso, enquanto maior peso foi registrado na temperatura de 30°C (Figura 7).

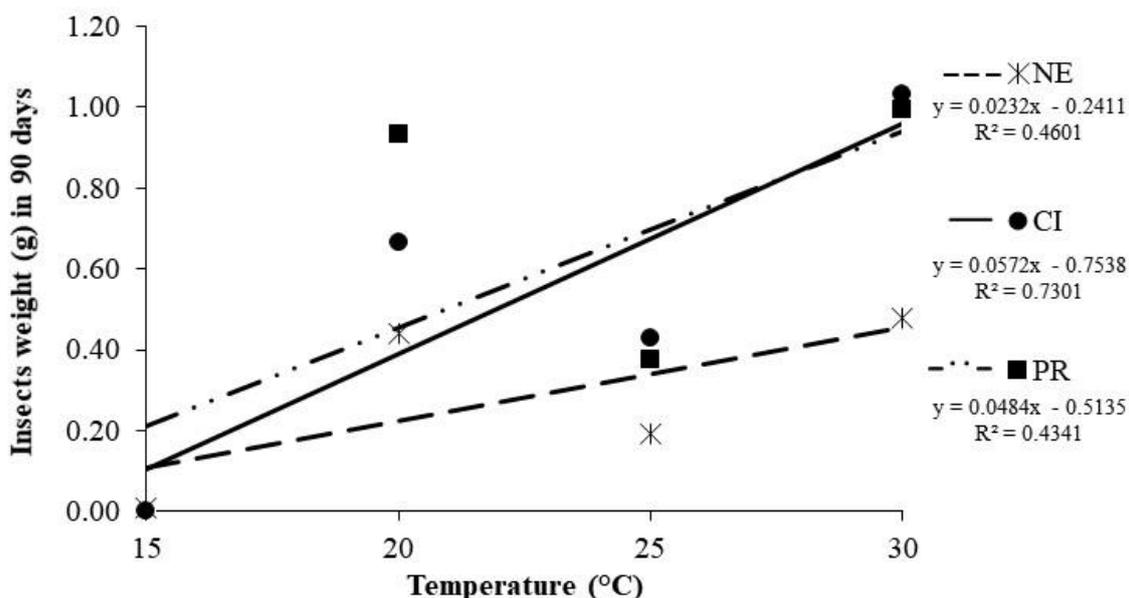


Figura 7: Peso total de *Sitophilus zeamais* emergidos em três genótipos de milho (NE-Nutricional Embrapa, CI-Cinquentinha, PR-Palha Roxa), em quatro temperaturas 15, 20, 25 e 30°C, para sessenta dias de armazenamento. Dourados, MS. 2023.

3.3 Peso dos grãos

A variedade de milho BR 451 QPM apresentou maior perda de massa dos grãos durante o armazenamento, nas diferentes temperaturas. Aos trinta dias na temperatura

de 15°C, essa variedade teve a maior perda de massa de grãos (194,52 gramas), diferindo estatisticamente de Cinquentinha. Também, nessa temperatura, em sessenta dias, esse genótipo teve menor média (192,98 gramas), diferindo estatisticamente de Cinquentinha, Palha Roxa e Asteca Vermelho. Em trinta e sessenta dias de armazenamento na temperatura de 25°C, BR 451 QPM teve maior perda de massa de grãos, com médias de 192,41 e 186,83 gramas, respectivamente (Tabela 3).

Cinquentinha teve menor perda da massa de grãos na temperatura de 15°C, em trinta e sessenta dias de armazenamento, sendo que aos trinta dias teve média de 199,81 gramas e aos sessenta dias 199,51 gramas.

A variedade Sol da Manhã foi o genótipo que apresentou a menor perda de massa de grãos nesse longo período de seis meses de armazenamento e nas diferentes temperaturas. Aos trinta dias, apresentou média de 201,01 gramas na temperatura de 20°C, porém diferiu estatisticamente somente de Catingueira. Aos sessenta dias de armazenamento, na temperatura de 20°C, Sol da Manhã seguiu com maior média, com 198,44 gramas. Em cento e vinte dias na temperatura de 20°C, Sol da Manhã teve média de 191,18 gramas e diferiu estatisticamente de Catingueira.

Na temperatura de 30°C, Sol da Manhã teve menor perda de massa de grãos com 206,28 gramas, diferindo estatisticamente de Nutricional Embrapa, Palha Roxa, Roxo e Catingueira em trinta dias de armazenamento. Em sessenta dias de armazenamento Sol da manhã na temperatura de 30°C teve média de 192,06 gramas e diferiu das variedades Catingueira, BR 451 QPM, Roxo e Palha Roxa. Ainda na temperatura de 30°C Sol da manhã teve média de 184,51 gramas, em noventa dias, e em cento e vinte dias média de 172,55 gramas, com menor perda de massa de grãos.

Nutricional Embrapa teve a menor perda de massa de grãos na temperatura de 25°C e perdurou por seis meses nessa temperatura sem a proliferação de fungos, superando todos os demais genótipos (Tabela 3).

Catingueira teve as maiores perdas de massa de grãos, com médias de 185,91, 183,87, 180,59, 175,39 gramas para 30, 60, 90 e 120 dias de armazenamento, respectivamente, para a temperatura de 20°C. Aos trinta, sessenta, e noventa dias essa variedade diferiu estatisticamente de todos os demais genótipos de milho, e em cento e vinte dias, diferiu estatisticamente de Sol da Manhã.

Tabela 3: Peso médio dos grãos (gramas) em oito genótipos de milho (NE-Nutricional embrapa, CI-Cinquentinha, PR-Palha Roxa, SM-Sol da Manhã, RO-Roxo, BR-BR 451 QPM, CA-Catingueira, AV-Asteca Vermelho) em quatro temperaturas, em seis tempo de armazenamento.

Genótipo	Temperatura	P value
-----------------	--------------------	----------------

		15	20	25	30	T	L	Q
30	NE	195,50 ab	198,52 a	200,18 a	201,15 bc	0,003	<0,001	0,359
	CI	199,81 a	199,62 a	199,79 a	204,99 ab	0,001	0,002	0,013
	PR	199,39 ab	196,31 a	196,98 ab	196,65 c	0,202	-	-
	SM	198,63 ab	201,01 a	197,80 a	206,28 a	<0,001	<0,001	0,007
	RO	198,27 ab	198,88 a	198,13 a	200,09 bc	0,591	-	-
	BR	194,52 b	200,70 a	192,41 b	203,39 ab	<0,001	<0,001	0,034
	CA	197,20 ab	185,91 b	195,41 ab	190,91 d	<0,001	0,063	0,003
	AV	199,41 ab	200,29 a	198,81 a	203,01 ab	0,065	-	-
	<i>P value</i>	0,006	<0,001	<0,001	<0,001			
60	NE	194,60 ab	196,60 cd	199,31 a	185,36 abc	<0,001	<0,001	<0,001
	CI	199,51 a	197,53 cd	197,71 a	188,46 abc	<0,001	<0,001	0,005
	PR	199,20 a	194,06 d	194,38 a	175,80 d	<0,001	<0,001	<0,001
	SM	198,44 ab	204,77 a	195,77 a	192,06 a	<0,001	<0,001	<0,001
	RO	198,01 ab	203,92 ab	195,40 a	182,86 c	<0,001	<0,001	<0,001
	BR	192,98 b	198,61bcd	182,54 c	186,83 bc	<0,001	<0,001	0,604
	CA	196,46 ab	183,87 e	188,65 b	174,83 d	<0,001	<0,001	0,634
	AV	199,28 a	200,65 abc	195,73 a	188,93 ab	<0,001	<0,001	0,002
	<i>P value</i>	0,002	<0,001	<0,001	<0,001			
90	NE	193,34 a	193,77 b	197,68 a	174,66 bc	<0,001	<0,001	<0,001
	CI	199,24 a	192,57 b	193,73 ab	174,94 bc	<0,001	<0,001	0,003
	PR	199,14 a	192,56 b	188,75 ab	157,10 d	<0,001	<0,001	<0,001
	SM	198,27 a	205,84 a	191,07 ab	184,51 a	<0,001	<0,001	<0,001
	RO	197,75 a	192,87 b	188,33 b	167,03 c	<0,001	<0,001	<0,001
	BR	191,35 a	195,72 b	-	171,01 c	<0,001	<0,001	<0,001
	CA	195,65 a	180,59 c	-	168,04 c	<0,001	<0,001	<0,001
	AV	199,12 a	195,56 b	189,78 ab	181,50 ab	<0,001	<0,001	0,249
	<i>P value</i>	0,044	<0,001	<0,001	<0,001			
120	NE	0	186,04 ab	193,77 a	158,32 bc	<0,001	<0,001	<0,001
	CI	0	179,53 ab	183,37 ab	-	<0,001	-	-
	PR	0	-	173,94 b	145,59 c	<0,001	-	-
	SM	0	191,18 a	179,12 b	172,55 a	<0,001	<0,001	<0,001
	RO	0	178,77 ab	-	150,45 c	<0,001	-	-
	BR	0	184,08 ab	-	-	<0,001	-	-
	CA	0	175,39 b	-	157,83 bc	<0,001	-	-
	AV	0	188,58 ab	172,94 b	170,88 ab	<0,001	<0,001	<0,001
	<i>P value</i>	0	<0,001	<0,001	<0,001			
150	NE	0	-	189,33	-	<0,001	-	-
	PR	0	-	-	141,06 b	<0,001	-	-
	SM	0	-	-	171,76 a	<0,001	-	-
	RO	0	-	-	139,34 b	<0,001	-	-
	CA	0	-	-	150,58 b	<0,001	-	-
	AV	0	-	-	171,77 a	<0,001	-	-
	<i>P value</i>	0	-	<0,001	0,001			
180	NE	0	-	182,38	-	<0,001	-	-

P value 0 - <0,001 -

*Médias não seguidas por mesma letra, na coluna, diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey. (-) Não houve avaliação devido a impossibilidade de avaliação dos grãos que mofaram. (P value) probabilidade do teste F 0,05 para (T) Valor de temperatura dentro de cada genótipo. (L) desdobramento de temperatura dentro de cada genótipo para o ajuste de equação linear. (Q) desdobramento de temperatura dentro de cada genótipo para o ajuste de quadrática. A partir de 120 dias de armazenamento na temperatura de 15°C não foi pesado os grãos pela ausência de insetos.

Para a variável peso de grãos, a variedade Nutricional Embrapa ajustou uma equação linear crescente, onde verificou-se que, ao aumentar a temperatura aumentou-se o peso dos grãos (Figura 8). Em 15°C, os grãos pesaram 195,50 gramas, já em 30°C pesaram 201,15 gramas. Catingueira registrou menor peso de grãos na temperatura de 20°C, com média de 185,91 gramas, e maior peso em 15°C, com média de 197,20 gramas. BR 451 QPM e Sol da Manhã tiveram menor peso de grãos na temperatura de 25°C, com 192,41 e 197,80 gramas, respectivamente, e também tiveram maior peso de grãos em 30°C, com média de 203,39 e 206,28 gramas. Esses dados são referentes aos trinta dias de armazenamento (Figura 8).

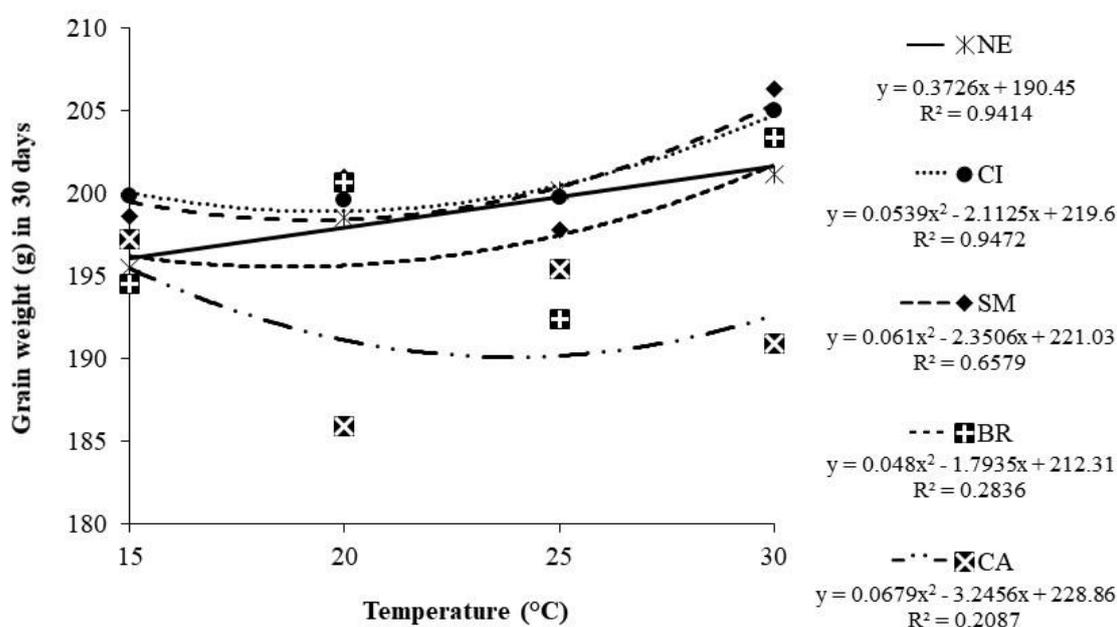


Figura 8: Peso dos grãos de cinco genótipos de milho (NE-Nutricional Embrapa, CI-Cinquentinha, SM- Sol da Manhã, BR-BR 451 QPM, CA-Catingueira) utilizados na alimentação e desenvolvimento de *Sitophilus zeamais*, em quatro temperaturas (15, 20, 25 e 30°C), para trinta dias de armazenamento.

As variedades de milho BR 451 QPM e Catingueira ajustaram uma equação linear decrescente aos sessenta dias de armazenamento (Figura 9). Em 15°C, essas variedades de milho tiveram maior peso de grãos, com médias de 192,98 e 196,46 gramas respectivamente, e na temperatura de 30°C tiveram menor peso, com médias de 186,83 e 174,83 gramas respectivamente. Nutricional Embrapa, Cinquentinha, Sol da

Manhã, Palha Roxa, Roxo e Asteca Vermelho apresentaram menores pesos de grãos em 30°C, com médias de 185,36, 188,46, 192,06, 175,80, 182,86 e 188,93 gramas respectivamente (Figura 9).

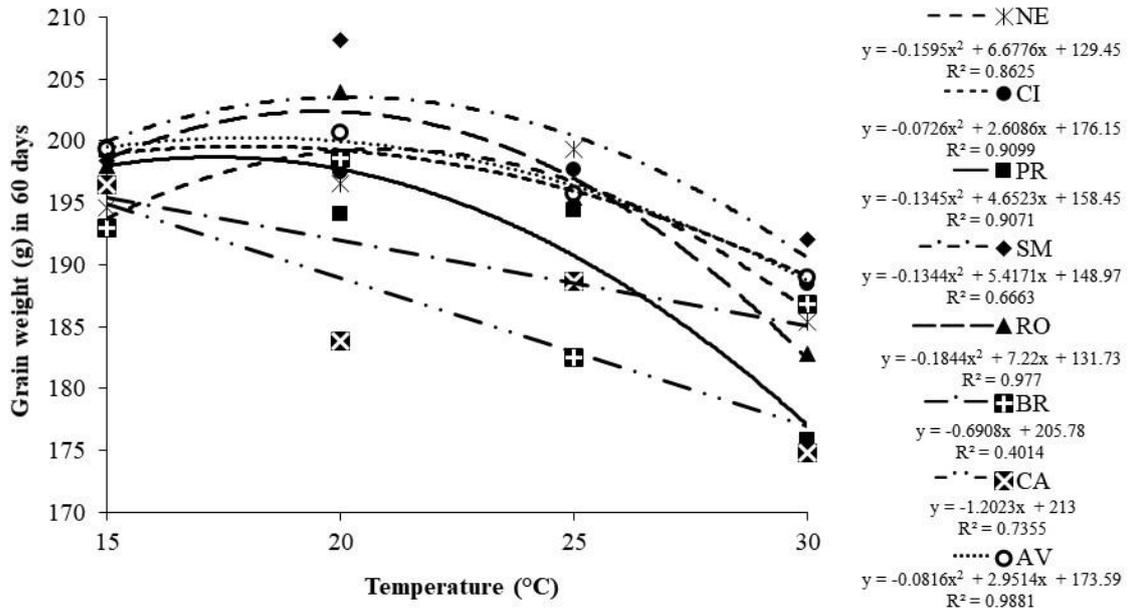


Figura 9: Peso dos grãos de oito genótipos de milho (NE-Nutricional Embrapa, CI-Cinquentinha, PR-Palha Roxa, SM-Sol da Manhã, RO-Roxo, BR-BR 451 QPM, CA-Catingueira, AV-Asteca Vermelho), utilizados na alimentação e desenvolvimento de *Sitophilus zeamais*, em quatro temperaturas (15, 20, 25 e 30°C), para sessenta dias de armazenamento.

Em noventa dias de armazenamento, os genótipos Nutricional Embrapa, Cinquentinha, Palha Roxa, Sol da Manhã e Roxo apresentaram decréscimo no peso dos grãos ao aumentar a temperatura, sendo o menor peso dos grãos registrado na temperatura de 30°C (Figura 10).

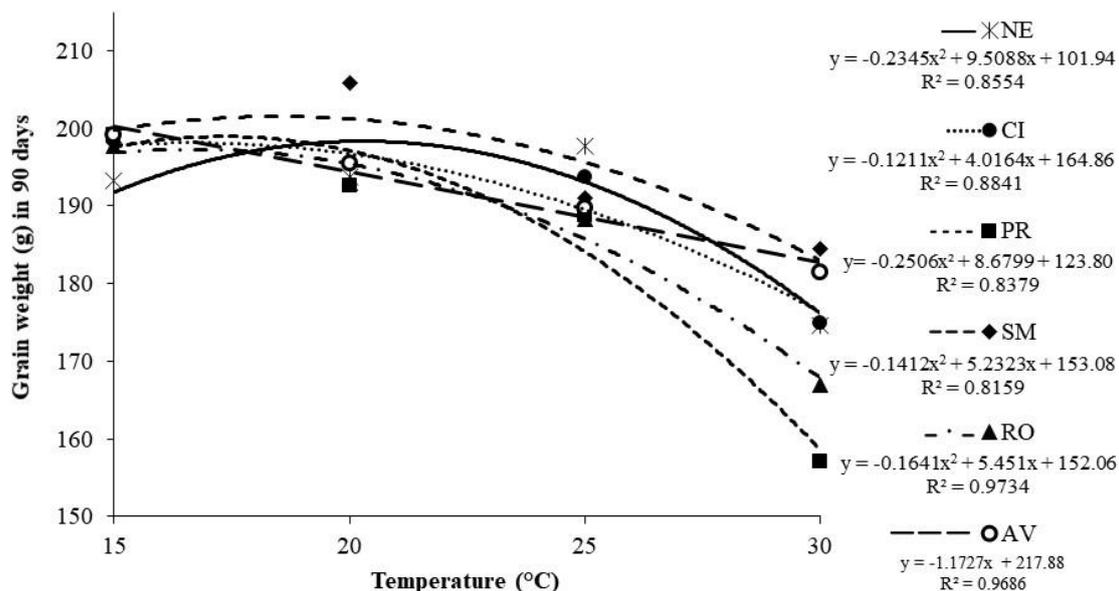


Figura 10: Peso dos grãos de seis genótipos de milho (NE-Nutricional Embrapa, CI-Cinquentinha, PR-Palha Roxa, SM-Sol da Manhã, RO-Roxo, AV-Asteca Vermelho), utilizados na alimentação e desenvolvimento de *Sitophilus zeamais*, em quatro temperaturas (15, 20, 25 e 30°C), para noventa dias de armazenamento

O genótipo Asteca Vermelho apresentou uma equação linear decrescente para o peso de grãos aos noventa dias de armazenamento, com média de 181,50 gramas para a temperatura de 30°C, sendo este o menor valor registrado entre as temperaturas. O mesmo genótipo registrou, para 15°C, maior média, com 199,12 gramas de peso dos grãos (Figura 10).

3.4 Peso de resíduo dos grãos

Para a variável peso de resíduo de grãos, a temperatura de 15°C apresentou diferença entre os genótipos somente nos primeiros trinta dias, em que, Nutricional Embrapa teve a maior média, 0,51 gramas de resíduo, diferindo estatisticamente de Cinquentinha, Palha Roxa, Roxo e Catingueira. O genótipo Roxo apresentou menor peso de resíduo, nesta temperatura em trinta dias (Tabela 4).

Em 20°C não foram encontradas diferenças estatísticas entre os genótipos para o peso de resíduo dos grãos até noventa dias de armazenagem. Porém, aos cento e vinte dias, Roxo teve maior média para resíduos de grãos nessa temperatura, com média de 2,91 gramas. Para esse período, Sol da Manhã teve menor peso de resíduo, 1,48 gramas, diferindo de as demais variedades de milho.

A variedade de milho Sol da Manhã nos tempos de trinta e noventa dias de armazenamento teve maior peso de resíduo, com médias de 0,94 e 2,63 gramas,

respectivamente, diferindo de todos os outros genótipos na temperatura de 25°C. Aos sessenta dias, para mesma temperatura, BRS 451 QPM teve maior peso de resíduo, com média de 1,26 gramas, diferindo de todos as demais variedades.

A variedade de milho Cinquentinha teve maior peso de resíduo, aos trinta e sessenta dias de armazenamento, na temperatura de 30°C, com média de 0,40 gramas de resíduo, porém aos trinta dias e diferiu estatisticamente Nutricional Embrapa, Roxo, BR 451 QPM e Asteca Vermelho. Aos sessenta dias de armazenamento, Cinquentinha teve média de 1,61 gramas de resíduo, diferiu estatisticamente de Nutricional Embrapa, Sol da Manhã, BR 451 QPM, Catingueira e Asteca Vermelho.

A variedade Asteca Vermelho apresentou os menores pesos de resíduos aos sessenta e noventa dias de armazenamento, na temperatura de 30°C, com médias de 0,56 e 0,82 gramas, respectivamente. Em noventa dias de armazenamento, na temperatura de 30°C, Milho Roxo teve maior peso de resíduo, diferindo estatisticamente de Asteca Vermelho, Catingueira, BR 451 QPM, Sol da Manhã, Palha Roxa e Nutricional Embrapa. E aos noventa dias, esse genótipo também teve novamente maior peso de resíduo, o qual, diferiu de as demais variedades de milho (Tabela 4).

O milho Nutricional Embrapa teve o menor peso de resíduo nos seis meses de armazenamento, sendo o único genótipo que resistiu a essa temperatura e tempo de armazenamento, sem afetar os grãos. Aos trinta dias, essa variedade teve média de 0,42 gramas; aos noventa dias teve média de 0,50 gramas; aos cento e vinte dias apresentou média de 0,40 gramas; aos cento e cinquenta dias, média de 1,06 gramas de resíduo; e aos cento e oitenta dias, 1,15 gramas de resíduo (Tabela 4).

Tabela 4: Peso médio (gramas) dos resíduos dos grãos em oito genótipos de milho (NE-Nutricional Embrapa, CI-Cinquentinha, PR-Palha Roxa, SM-Sol da Manhã, RO-Roxo, BR-BR 451 QPM, CA-Catingueira, AV-Asteca Vermelho) em quatro temperaturas, em seis tempo de armazenamento.

	Genótipo	Temperatura				P value		
		15	20	25	30	T	L	Q
30	NE	0,51 a	0,07 a	0,04 c	0,06 bc	<0,001	<0,001	0,001
	CI	0,14 bc	0,09 a	0,33 bc	0,40 a	0,004	0,001	0,373
	PR	0,14 bc	0,08 a	0,23 c	0,26 abc	0,243	-	-
	SM	0,30 abc	0,11 a	0,94 a	0,15 abc	<0,001	0,209	<0,001
	RO	0,12 c	0,07 a	0,28 c	0,08 bc	0,107	-	-
	BR	0,44 ab	0,04 a	0,60 b	0,04 c	<0,001	0,042	0,258
	CA	0,16 bc	0,27 a	0,17 c	0,35 ab	0,174	-	-
	AV	0,25 abc	0,04 a	0,17 c	0,06 bc	0,112	-	-
	<i>P value</i>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001			
60	NE	0,15 a	0,21 a	0,11 d	0,67 d	0,001	0,004	0,030
	CI	0,16 a	0,43 a	0,10 d	1,61 a	<0,001	<0,001	<0,001

	PR	0,07 a	0,51 a	0,17 cd	1,50 ab	<0,001	<0,001	<0,001
	SM	0,01 a	0,13 a	0,65 bc	0,58 d	<0,001	<0,001	0,397
	RO	0,01 a	0,15 a	0,25 bcd	1,18 abc	<0,001	<0,001	<0,001
	BR	0,04 a	0,14 a	1,26 a	1,05 bcd	<0,001	<0,001	0,169
	CA	0,01 a	0,41 a	0,71 b	0,97 cd	<0,001	<0,001	0,542
	AV	0,01 a	0,18 a	0,65 bc	0,56 d	<0,001	<0,001	0,267
	P value	0,948	0,085	<0,001	<0,001			
90	NE	0,02 a	0,51 a	0,50 cd	1,71 bcd	<0,001	<0,001	0,127
	CI	0,02 a	0,74 a	0,91 bcd	2,43 ab	<0,001	<0,001	0,087
	PR	0,003 a	1,23 a	1,39 bc	1,97 bc	<0,001	<0,001	0,162
	SM	0,04 a	0,44 a	2,63 a	1,04 cd	<0,001	<0,001	<0,001
	RO	0,004 a	0,76 a	1,57 b	3,17 a	<0,001	<0,001	0,072
	BR	0,01 a	0,73 a	-	1,66 bcd	<0,001	<0,001	0,042
	CA	0,006 a	0,61 a	-	1,29 cd	<0,001	0,002	0,144
	AV	0,01 a	0,46 a	1,72 ab	0,82 d	<0,001	<0,001	0,004
	P value	1	0,299	<0,001	<0,001			
120	NE	0	1,93 a	0,40 c	2,56 b	<0,001	<0,001	0,774
	CI	0	2,84 a	1,13 bc	-	<0,001	-	-
	PR	0	-	2,46 b	1,48 bc	<0,001	-	-
	SM	0	1,48 ab	2,47 b	2,29 b	<0,001	<0,001	0,039
	RO	0	2,91 a	-	5,29 a	<0,001	-	-
	BR	0	1,80 a	-	-	0,002	-	-
	CA	0	1,97 a	-	2,48 b	<0,001	-	-
	AV	0	1,80 a	4,96 a	2,30 b	<0,001	<0,001	<0,001
	P value	0	<0,001	<0,001	<0,001			
150	NE	0	-	1,06	-	<0,001	-	-
	PR	0	-	-	0,44 bc	0,038	-	-
	SM	0	-	-	1,33 b	<0,001	-	-
	RO	0	-	-	2,47 a	<0,001	-	-
	CA	0	-	-	1,32 b	<0,001	-	-
	AV	0	-	-	0,70 bc	<0,001	-	-
	P value	0	-	<0,001	<0,001			
180	NE	0	-	1,15	-	<0,001	-	-
	P value	0	-	<0,001	-			

*Médias não seguidas por mesma letra, na coluna, diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey. (-) Não houve avaliação devido a impossibilidade de avaliação dos grãos que mofaram. (P value) probabilidade do teste F 0,05 para (T) Valor de temperatura dentro de cada genótipo. (L) desdobramento de temperatura dentro de cada genótipo para o ajuste de equação linear. (Q) desdobramento de temperatura dentro de cada genótipo para o ajuste de quadrática. A partir de 120 dias de armazenamento na temperatura de 15°C não foi pesado os resíduos pela ausência de insetos nos grãos.

O genótipo Cinquentinha apresentou um crescimento linear no peso de resíduo dos grãos. Na temperatura de 20°C apresentou menor peso de resíduo, com 0,09 gramas, e em 30°C registrou maior peso, com 0,40 gramas de resíduo em trinta de dias armazenamento (Figura 11).

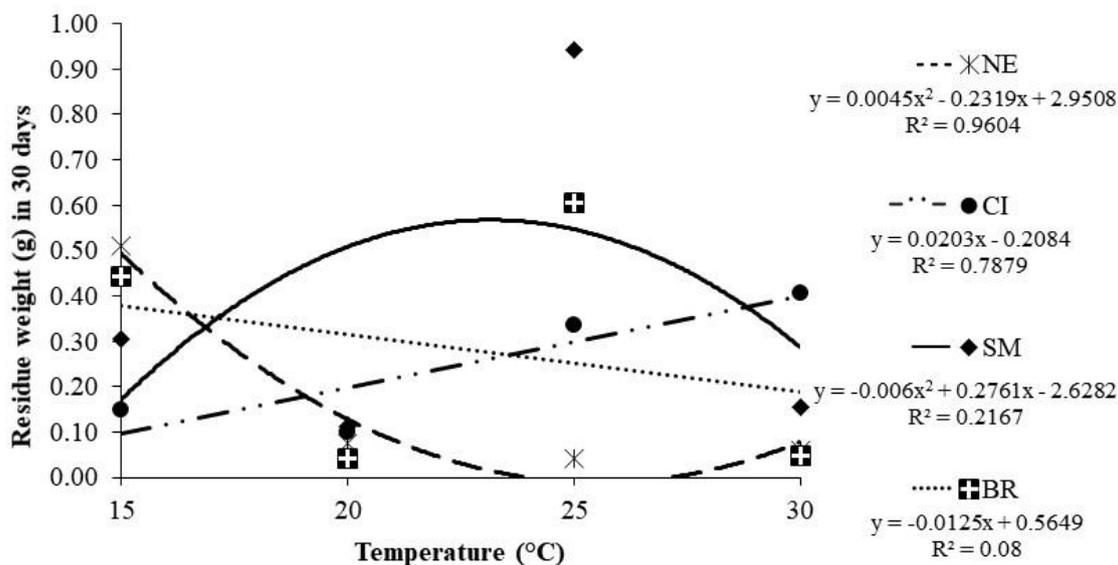


Figura 11: Peso de resíduos de grãos de quatro genótipos de milho (NE-Nutricional Embrapa, CI-Cinquentinha, SM-Sol da Manhã, BR-BR 451 QPM), resultante da alimentação e desenvolvimento de *Sitophilus zeamais*, em quatro temperaturas 15, 20, 25 e 30°C, para trinta dias de armazenamento.

A variedade de milho BR 451 QPM apresentou um crescimento linear decrescente no peso de resíduo dos grãos. Nas temperaturas de 20°C e 30°C apresentou menor peso de resíduo, com 0,04 gramas, e em 25°C registrou maior peso, com 0,60 gramas de resíduo (Figura 11). A variedade Sol da Manhã apresentou menor média de peso de resíduo em 20°C, com 0,11 gramas, entretanto registrou em 25°C maior peso de resíduo, com média de 0,94 gramas. Nutricional Embrapa foi o contrário, 0,51 gramas de resíduo em 15°C e 0,04 gramas de resíduo em 25°C (Figura 11).

Aos sessenta dias de armazenamento, as variedades Sol da Manhã, BR 451 QPM, Catingueira e Asteca Vermelho apresentaram um crescimento linear, sendo as menores médias para resíduos de grãos registrados em 15°C, 0,01, 0,04, 0,01 e 0,01 gramas, respectivamente (Figura 12). Sol da Manhã, Asteca Vermelho registraram maiores médias para peso de resíduos dos grãos em 25°C, com 0,65 gramas e 1,26 gramas, já para BR 451 QPM, mas o genótipo Catingueira teve maior média em 30°C com 0,97 gramas de resíduo.

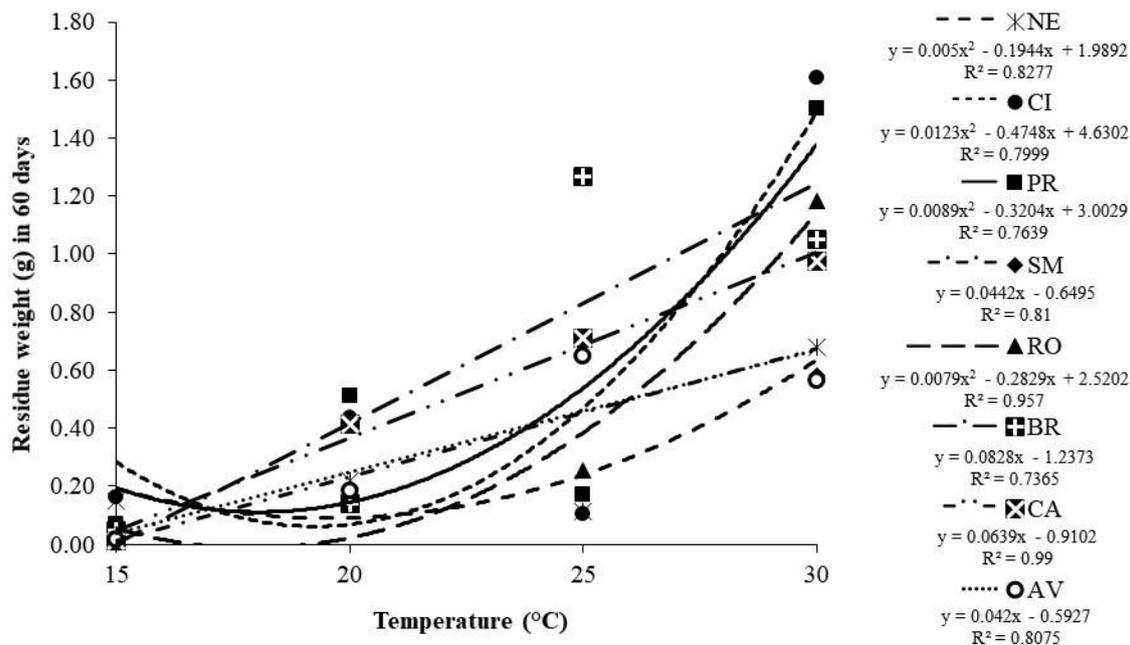


Figura 12: Peso de resíduos de grãos de oito genótipos de milho (NE-Nutricional Embrapa, CI-Cinquentinha, PR-Palha Roxa, SM-Sol da Manhã, RO-Roxo, BR-BR 451 QPM, CA-Catingueira, AV-Asteca Vermelho), oriundo da alimentação e desenvolvimento de *Sitophilus zeamais*, em quatro temperaturas 15, 20, 25 e 30°C, para sessenta dias de armazenamento.

O peso de resíduo dos grãos Nutricional Embrapa, Cinquentinha, Palha Roxa e Roxo aumentou conforme aumentou-se a temperatura, ficando menor peso de resíduo nas temperaturas de 15, 20 e 25°C e maior peso na temperatura de 30°C. Então, esses genótipos tiveram como médias 0,67, 1,61, 1,50 e 1,18 gramas em sessenta dias de armazenamento (Figura 12).

Aos noventa dias de armazenamento, os genótipos Nutricional Embrapa, Cinquentinha, Palha Roxa e Roxo apresentaram um crescimento linear no peso de resíduo dos grãos (Figura 13). Em 15°C, tiveram médias de 0,02, 0,02, 0,003 e 0,004 gramas, e as maiores médias foram registradas em 30°C, com 1,71, 2,43, 1,97 e 3,17 gramas (Figura 13). As variedades Sol da Manhã e Asteca Vermelho registraram maior média para o peso de resíduos em 25°C, com médias de 2,63 e 1,72 gramas aos noventa dias de armazenamento, e menores médias em 15 °C, com 0,04 e 0,01 gramas (Figura 13).

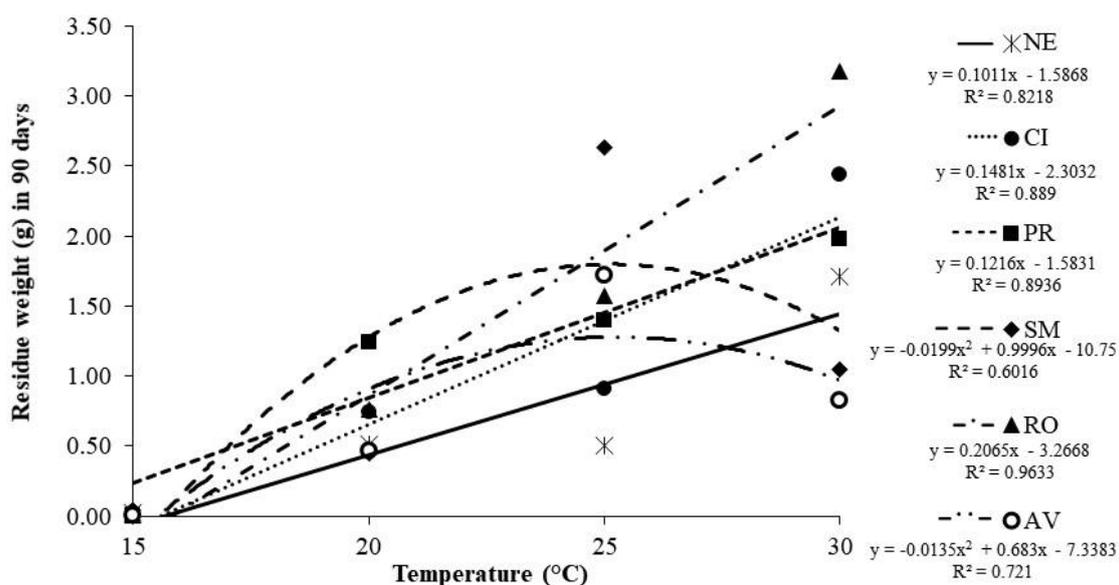


Figura 7: Peso de resíduos de grãos de seis genótipos de milho (NE-Nutricional Embrapa, CI-Cinquentinha, PR-Palha Roxa, SM-Sol da Manhã, RO-Roxo, AV-Asteca Vermelho), resultante da alimentação e desenvolvimento de *Sitophilus zeamais*, em quatro temperaturas 15, 20, 25 e 30°C, para noventa dias de armazenamento.

Análises químicas realizadas revelaram diferenças marcantes nos teores de amido, proteínas e lipídeos entre os genótipos. Notavelmente, Nutricional Embrapa destacou-se com a maior porcentagem de amido (62,98%) e teor elevado de lipídeos (9,48%) (Tabela 5). O genótipo BR 451 QPM liderou em proteínas totais, com uma impressionante porcentagem de 8,00%. As diferenças nos perfis químicos indicam a diversidade nutricional e a potencial aplicação desses genótipos em diferentes contextos alimentares.

Tabela 5- Análises químicas total (amido, proteínas e lipídeos) de grãos de milho, expressos em porcentagem (%).

Genótipos de milho	Amido (%)	Proteína total (%)	Lipídeos total (%)
Catingueira	62,44	6,25	6,73
Cinquentinha	53,59	3,62	7,49
Asteca Vermelho	45,01	6,35	6,04
Nutricional Embrapa	62,98	6,10	9,48
BR 451 QPM	62,41	8,00	6,26

Seguindo a metodologia de Detmann et al., 2012.

4. DISCUSSÃO

As variações no número de insetos emergidos nas diferentes temperaturas indica que esse fator físico tem interferência no desenvolvimento dos insetos. Neste estudo foi

observado que, independentemente do genótipo, a temperatura de 15°C suprimiu o desenvolvimento de *S. zeamais* reduzindo dos danos causados pelos insetos, porém o controle efetivo dos insetos se deu a partir dos noventa dias de armazenamento. A temperatura de 15°C tem sido sugerida como método de controle na supressão no desenvolvimento de *S. zeamais*; além disso, o grão é um bom isolante térmico e mantém-se frio por longos períodos de tempo quando aerado ou refrigerado em temperaturas muito baixas (ILELEJI et al., 2007).

Estudos realizados têm mostrado que baixas temperaturas e umidade por um período prolongado podem causar quase 100% da mortalidade de *S. zeamais* em grãos armazenados, assim como os resultados encontrados nesse trabalho, pois na temperatura de 15°C tiveram 100% dos insetos controlados a partir de noventa dias, para todos os genótipos (MARPAUNG, 2021; GOLIC' et al., 2021). A grande maioria dos insetos pragas de grãos armazenados necessitam de temperaturas altas para seu desenvolvimento, sendo assim, baixas temperaturas podem ser um grande aliado para desinfestação desses insetos (ZHANG et al., 2020). No que diz respeito ao completo desenvolvimento de *S. zeamais*, a temperatura ideal está na faixa de 25 a 35°C, entretanto, esse desenvolvimento pode ser retardado ou paralisado, se a temperatura ficar abaixo de 16°C frequentemente, como mostram os resultados nesse trabalho.

O mecanismo envolvido na mortalidade de insetos por temperaturas baixas é o super-resfriamento. O Super Cooling Point (SCP), ou ponto de superresfriamento é definido como a temperatura mais baixa na qual um inseto pode ser resfriado antes que ocorra a nucleação espontânea de gelo nos fluidos corporais, ou seja, na qual a água corporal congela (LEE et al., 1996). Entretanto o SCP pode ser afetado dependendo do estágio de vida do inseto, idade, tamanho corporal, etc. O SCP é determinado pela detecção do calor latente de fusão liberado à medida que a água do corpo do inseto congela (SØMME, 1999). Apesar deste trabalho não ter avaliado SCP de *S. zeamais*, podemos observar que pelo baixíssimo número de insetos emergidos na temperatura de 15°C, parece afetar adultos e imaturos, pois a morte ocorre em temperaturas bem acima do SCP (TURNOCK; FIELDS, 2005; ANDREADIS; ATHANASSIOU, 2017).

Insetos que não toleram baixas temperaturas quando expostos a baixas temperaturas de seu mínimo térmico crítico (CTmin), entram em um estado paralítico reversível, que se denominado coma frio e acumulam lesões causadas pelo frio (MACMILLAN et al., 2012; ANDERSEN et al., 2015). A temperatura de 15°C parece ser uma temperatura mínima térmico crítico para *S. zeamais*, pois inibiu o

desenvolvimento dos insetos nos grãos de milho. Fisiologicamente as baixas temperaturas levam à perda da homeostase da água no tecido muscular, presente na hemolinfa e no canal alimentar dos insetos. Possivelmente, esse é o mecanismo que leva a perda da excitabilidade muscular e a progressão da lesão por frio em insetos suscetíveis ao frio como *S. zeamais* (MACMILLAN et al., 2012).

O maior número de insetos emergidos foram nas temperaturas de 25°C e 30°C, para todos os genótipos de milho. Essas temperaturas são ideais para o desenvolvimento de grandes populações de insetos na massa dos grãos. Quando isso ocorre, há um aumento na respiração dos grãos, o que aumenta a temperatura e conseqüentemente a umidade do ambiente proporcionando a proliferação de fungos, como foi observado nos genótipos BR 451 QPM e Catingueira, que aos sessenta dias de armazenamento tiveram uma média de 282.5 e 205.5 insetos emergidos, respectivamente; isso causou a proliferação de fungos e deterioração dos grãos (DIAS et al., 2020; CORADI et al., 2020; DOMIN et al., 2020). Entretanto, a temperatura de 15°C, além de contribuir para o controle de grandes populações de insetos na massa de grãos, reduz a atividade enzimática do processo respiratório dos grãos, prolongando a viabilidade de grãos e sementes de milho (PARAGINSKI et al., 2015; ZIEGLER et al., 2021).

A qualidade dos grãos e sementes de milho durante longos períodos de armazenamento pode ser afetada pela temperatura do armazenamento, pois além de influenciar o aumento da respiração dos grãos, favorece no crescimento exponencial de grandes populações de insetos, pois quanto maior o tempo de armazenamento em temperaturas de 20 e principalmente 25 e 30°C, maior é a população de insetos e maiores são as perdas de massa de grãos, como foi observado em todos os genótipos de milho nesse estudo (MAGGIONI et al., 2016; CORTESE; ANDRADE, 2022). Além disso, quanto maior o tempo de armazenamento, maior será o número de gerações de insetos na massa de grãos, resultando em maiores perdas no final do tempo de armazenagem. Devido a isso, o uso de temperaturas baixas, como 15°C, pode ser um forte aliado no controle de insetos pragas sem que ocorra a perda na composição dos grãos, ao longo do tempo de armazenamento. Nesse sentido, segundo Paraginski et al. (2014), a temperatura de 15°C não afeta a composição básica dos grãos de milho quando armazenados com uma umidade inicial de 14%, em doze meses de armazenamento. Sendo assim, além de não ocorrer perdas na composição dos grãos pela temperatura, evitaria a perdas de proteínas e amido, resultantes da alimentação dos insetos.

Em regiões tropicais, onde altas temperaturas são predominantes, ocorre um rápido desenvolvimento dos insetos (MUTAMBUKI et al., 2019), o que foi observado nos genótipos Roxo, Palha Roxa, BR 451 QPM e Catingueira. Em um estudo foram utilizados grãos naturalmente infestados, e a densidade média inicial de insetos foi de 26 indivíduos por quilo grama de milho, a população de insetos aumentou 31 vezes ao longo do período de armazenamento em 180 dias, esses resultados corroboram com os resultados desse trabalho (NGUENHA et al., 2023). Pois em cento e vinte dias milho Roxo chegou a uma média de 364.5 insetos emergidos, já o genótipo Palha Roxa em um período menor de noventa dias chegou a 331.5 insetos na temperatura de 30°C. Na temperatura de 25°C, os genótipos BR 451 QPM e Catingueira tiveram o maior número de insetos emergidos em menor período de tempo, período esse de sessenta dias.

A supressão na progênie de *S. zeamais* na temperatura de 15°C, parece não ser influenciada pela resistência dos grãos de milho, pois os genótipos não apresentaram diferenças estatísticas aos sessenta e noventa dias de armazenamento, no que diz respeito ao número de insetos emergidos, peso de insetos, peso dos grãos e peso de resíduos. As diferenças no número de progênie de *S. zeamais* e os efeitos de resistência dos diferentes genótipos são observadas a partir de 20°C. Esses efeitos de resistência de grãos são observados na variedade Nutricional Embrapa, que apresentou menor número de insetos emergidos, menor perda de peso dos grãos em 25°C, e foi o único genótipo que permaneceu por cento e oitenta dias sem a proliferação de fungos os grãos e sem maiores deteriorações. Os grãos de milho da variedade Asteca Vermelho tiveram resultados semelhantes, apresentou menor número de insetos emergidos em sessenta e noventa dias na temperatura de 30°C, e perdurou por cento e cinquenta dias de armazenagem.

Nutricional Embrapa e Asteca Vermelho apresentaram melhores resultados para o controle de *S. zeamais* em seis meses de armazenamento, nas temperaturas de 25 e 30°C. Esse baixo número de insetos emergidos nas variedades Asteca Vermelho e Nutricional Embrapa pode ser devido aos efeitos de antibiose, o qual pode afetar ovos, larvas e pupas, não permitindo que o inseto chegue a fase adulta (RASHID et al., 2021; NGOM et al., 2021). Alguns estudos que testaram a resistência de grãos de milho a *S. zeamais*, verificaram que genótipos de milho resistentes tiveram um menor número de insetos emergidos e uma menor perda de peso dos grãos (RASHID et al., 2021; NGOM et al., 2021; NHAMUCHO et al., 2017).

A resistência de grãos de milho é determinada por vários fatores que podem governarem juntos ou isoladamente, como tamanho e textura do pericarpo, dureza, teor de amido e proteína, compostos antialimentares como inibidores de amilase e proteinase, ou ainda a presença de compostos fenólicos, alcaloides, e fatores relacionados a temperatura e umidade dos grãos entre outros (RASHID et al., 2021; SSERUMAGA et al., 2021; FRAZÃO et al., 2018; NHAMUCHO et al., 2017; VI et al., 2017; NWOSU, 2016).

As análises químicas demonstraram que Asteca Vermelho apresenta um alto teor proteico, com 6,35%, assim como BR 451 QPM que possui 8% de proteínas totais. Apesar disso, Asteca Vermelho se mostrou resistente em relação a BR 451 QPM, que foi suscetível ao ataque de *S. zeamais*, sendo assim, o nível de proteína nesse genótipo não parece influenciar na resistência do genótipo. Nwosu et al., (2015) atribuíram que a suscetibilidade de um genótipo está relacionada com o teor de proteínas e amidos, sendo os grãos que contêm maior porcentagem de proteína (3 a 4%) mais suscetíveis, isso se confirma no genótipo BR 451 QPM, que apesar da alta porcentagem de proteínas foi suscetível ao ataque de *S. zeamais*. Entretanto, outros estudos relataram que a resistência está relacionada com os tipos de proteínas e sua concentração, as quais, podem afetar negativamente o número de ovos nos grãos e sua progênie, como as lectinas que parecem estar relacionadas com defesa de plantas a insetos, além da presença de constituintes proteicos como triptofano e lisina, os quais podem afetar adversamente a alimentação, preferência hospedeira, crescimento ou desenvolvimento do inseto. Desta forma, os tipos de proteína e a concentração destas em Asteca Vermelho podem ter colaborado com um menor desenvolvimento dos insetos na massa de grãos (HIRUY; GUTE 2018).

Alguns estudos têm relatado que genótipos de milho com alto conteúdo proteico são resistentes em relação aos que possuem alto teor de amido, isso, porque, proteínas parecem estar relacionadas com a dureza dos grãos de milho, visto que grãos com alto teor de amido tendem a serem macios e conseqüentemente mais suscetíveis ao ataque de *S. zeamais* (NHAMUCHO et al., 2017; MWOLOLO et al., 2013). Insetos pragas de grãos armazenados utilizam amido como principal fonte energética, os quais, vivem bem em dietas ricas em polissacarídeos. Com isso, podemos observar que o genótipo de milho Asteca Vermelho teve menor porcentagem de amido em relação aos demais genótipos, e talvez essa seja uma resposta para maior resistência desses grãos ao ataque do *S. zeamais* em seis meses de armazenamento (MAGGIONI et al., 2016). Asteca

Vermelho teve menor teor de lipídeos, 6,04%, os quais estão correlacionados com suscetibilidade dos grãos, o que também pode ter contribuído para uma maior resistência desse genótipo (MARSARO JÚNIOR et al., 2005; MARSARO JÚNIOR et al., 2008). Todavia, somente a quantificação de amido, proteínas e lipídeos não são parâmetros suficientes para designar a resistência ou suscetibilidade de um genótipo de milho.

Estudos para identificação de genótipos de milho resistentes a *S. zeamais* é de extrema importância, principalmente em países subtropicais e tropicais, onde são constantes temperaturas na faixa dos 25 a 35°C. Além disso, muitos países não apresentam sistema eficiente de armazenagem e não conseguem controlar temperatura da massa de grãos. (DEMISSIE et al., 2015; ELIAS et al., 2017; SSERUMAGA et al., 2021; MACULOSO et al., 2022.) Dessa forma, grãos de milho de genótipos resistentes podem diminuir as perdas durante a armazenagem possibilitando menores prejuízos para armazenistas.

De modo geral, os resultados mostraram que a temperatura nas unidades armazenadoras é um fator importante no controle desse inseto. A temperatura de 15°C foi eficaz na supressão do desenvolvimento de *S. zeamais*, com 100% dos insetos mortos após 90 dias de armazenamento. A resistência de genótipos de milho também foi um fator importante no controle da praga. Os genótipos Nutricional Embrapa e Asteca Vermelho apresentaram menor número de insetos emergidos e menor perda de peso dos grãos em temperaturas de 25 e 30°C. Esses resultados são consistentes com outros estudos que mostraram que genótipos de milho resistentes a *S. zeamais* têm menor número de insetos emergidos e menor perda de peso dos grãos (NHAMUCHO et al., 2017; RASHID et al., 2021; NGOM et al., 2021). No caso dos genótipos Nutricional Embrapa e Asteca Vermelho, a resistência pode estar relacionada a uma combinação desses fatores.

CONCLUSÕES

Este estudo avaliou a influência da temperatura e da resistência de genótipos de milho no controle de *Sitophilus zeamais*, e os resultados mostraram que esses fatores são importantes no controle desse inseto.

A temperatura de 15°C foi eficaz na supressão do desenvolvimento de *S. zeamais*, com 100% dos insetos mortos após 60 dias de armazenamento.

A resistência de genótipos de milho também foi um fator importante no controle de *S. zeamais*. Os genótipos Nutricional Embrapa e Asteca Vermelho apresentaram menor número de insetos emergidos e menor perda de peso dos grãos em temperaturas de 25 e 30°C.

Essas estratégias podem ser utilizadas de forma complementar para melhorar a conservação de grãos de milho, além disso, possibilitam a redução no uso de inseticidas químicos sintéticos, também podem retardar a evolução de resistência das pragas aos inseticidas químicos e a diminuição de resíduos desses produtos nos grãos e sementes.

REFERÊNCIAS

ACHEAMPONG, A.; AYERTEY, J. N.; EZIAH, V. Y.; IFIE, B. E. Susceptibility of selected maize seed genotypes to *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 81, p. 62-68, 2019.

ALMEIDA FILHO, A. J. DE.; FONTES, L. S.; ARTHUR, V. Determinação da perda de peso do milho (*Zea mays*) provocada por *Sitophilus oryzae* e *Sitophilus zeamais*. **Ecossistema**, v.27, n.2, 2002.

ANDERSEN, J. L.; MACMILLAN, H. A.; OVERGAARD, J. Muscle membrane potential and insect chill coma. **Journal of Experimental Biology**, p. jeb.123760, 1 jan. 2015. <https://doi.org/10.1242/jeb.123760>.

ANDREADIS, S. S.; ATHANASSIOU, C. G. A review of insect cold hardiness and its potential in stored product insect control. **Crop Protection**, v. 91, p. 93-99. 2017.

ANTUNES, L. E. G.; VIEBRANTZ, P. C.; GOTTARDI, R.; DIONELLO, R. G. Características físico-químicas de grãos de milho atacados por *Sitophilus zeamais* durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 615–620, 2011.

BRILINGER, D.; WILLE, C. L.; MACHADO DA ROSA, J.; FRANCO, C. R.; CARISSIMI BOFF, M. I. Susceptibility of Brazilian maize landraces to the attack of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 88, p. 101677, 1 set. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101677>.

CANEPPELE, M. A. B.; ANDRADE, P. de J.; SANTAELLA, A. G. Diferentes dosagens de pó inerte e temperaturas em milho armazenado para controle de gorgulho-do-milho. **Scientia Agraria**, Universidade Federal do Paraná, v. 11, n. 4, p. 343–347, 2010.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra Brasileira de Grãos**, – Safra 2023/24, - **Primeiro levantamento**. Brasília, DF, v.11, n.1, p. 1-117, outubro 2023. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>.

CONTINI, E. et al. Milho-Characterização e Desafios Tecnológicos. **Embrapa**, v. 5, n. 1, p. 1–45, 2019.

CORADI, P. C.; MALDANER, V.; LUTZ, É.; DA SILVA DAÍ, P. V.; TEODORO, P. E. Influences of drying temperature and storage conditions for preserving the quality of maize postharvest on laboratory and field scales. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 22006, 15 dez. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78914-x>.

CORTESE, D.; ANDRADE, S. G. Resistência de genótipos de milho a densidades de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Revista Agrária Acadêmica**, v. 5, n. 4, p. 41-55, 2022.

CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>

DEMISSIE, G.; TILAHUN, B.; DIDA, M.; TEKLEWOLD, A.; WEGARY, D. Evaluation of quality protein maize inbred lines for resistance to maize weevil *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: curculionidae) and other important agronomic traits. **Euphytica**, v. 205, n. 1, p. 137–150, 1 set. 2015. <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1412-5>.

DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C. et al. **Métodos para análise de alimentos**. Suprema: Visconde do Rio Branco, 2012. 51-113p.

DEUNER, C.; ROSA, K. C.; MENEGHELLO, G. E.; BORGES, C. T.; ALMEIDA, A. da S.; BOHN, A. Physiological performance during storage of corn seed treated with insecticides and fungicide. **Journal of Seed Science**, v. 36, p. 204–212, jun. 2014. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v32n2928>.

DIAS, T. F. de V.; ARCANJO, L. de L.; COSTA, G. L. da; SOUZA, C. S.; LIMA, C. A. R. de. Controle de pragas e tratamento de grãos armazenados para uso em rações para animais. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e739996964–e739996964, 5 set. 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.6964>.

DOMIN, M.; KLUZA, F.; GÓRAL, D.; NAZAREWICZ, S.; KOZŁOWICZ, K.; SZMIGIELSKI, M.; ŚLASKA-GRZYWNA, B. Germination Energy and Capacity of Maize Seeds Following Low-Temperature Short Storage. **Sustainability**, v. 12, n. 1, p. 46, jan. 2020. <https://doi.org/10.3390/su12010046>.

FARIA, I. L. de; SILVA, L. C. da; ZEYMER, J. S.; ARAUJO, M. E. V. de; OLIVEIRA, G. H. H. de. Model applicability to predict growth rate of insects throughout storage of corn grain (*Zea mays* L.). **Revista Engenharia na Agricultura** -

REVENG, v. 30, n. Contínua, p. 36–48, 25 abr. 2022.
<https://doi.org/10.13083/reveng.v30i1.12656>.

FRAZÃO, C. A. V.; SILVA, P. R. R.; ALMEIDA, W. A. de; PONTUAL, E. V.; CRUZ, G. dos S.; NAPOLEÃO, T. H.; FRANÇA, S. M. de. Resistance of maize cultivars to *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 85, 14 nov. 2018. DOI [10.1590/1808-1657000552017](https://doi.org/10.1590/1808-1657000552017). Disponível em: <http://www.scielo.br/j/aib/a/CLtx6pB84SfFTRDtNBJSj9m/abstract/?lang=en>. Acesso em: 23 fev. 2023.

GOLIĆ, M. P.; ANDRIĆ, G.; JOVIČIĆ, I.; KLJAJIĆ, P. The effectiveness of low temperature (5 °C) on *Sitophilus oryzae* (L.), *Sitophilus zeamais* (Motch.) and *Sitophilus granarius* (L.) in wheat grain: The impact of pre-acclimation. **Journal of Stored Products Research**, v. 90, p. 101751, 1 jan. 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101751>.

HIRUY, B.; GUTE, E. Screening of some Maize Varieties for Resistance against the Maize weevils, *Sitophilus zeamais* (Motsch.). **International Journal of Entomology and Nematology**, v. 4, n. 1, p. 77-84, 2018.

ILELEJI, K. E.; MAIER, D. E.; WOLOSHUK, C. P. Evaluation of different temperature management strategies for suppression of *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) in stored maize. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, n. 4, p. 480-488. 2007.

JIMÉNEZ-GALINDO, J. C.; CASTILLO-ROSALES, A.; CASTELLANOS-PÉREZ, G.; OROZCO-GONZÁLEZ, F.; ORTEGA-ORTEGA, A.; PADILLA-CHACÓN, D.; BUTRÓN, A.; REVILLA, P.; MALVAR, R. A. Identification of Resistance to the Corn Weevil (*Sitophilus zeamais* M.) in Mexican Maize Races (*Zea mays* L.). **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 312, fev. 2023. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020312>.

LANZANOVA, C.; AGAPE, C.; CASTORINA, G.; BALCONI, C.; ALFIERI, M.; LOCATELLI, D. P.; CONSONNI, G.; LIMONTA, L. Are variations in kernel-related morphometric and chemical parameters correlated with differences in *Sitophilus oryzae* attack in maize?. **Seed Science and Technology**, v. 49, n.2, p. 93-105, 2021. DOI [10.15258/sst.2021.49.2.02](https://doi.org/10.15258/sst.2021.49.2.02).

LEE JÚNIOR. R. E.; COSTANZO, J. P.; MUGNANO, J.A. Regulation of supercooling and ice nucleation in insects. **European Journal of Entomology**, v. 93, p. 405- 418. 1996.

LEMIC, D.; MIKAC, K. M.; GENDA, M.; JUKIĆ, Ž.; PAJAČ ŽIVKOVIĆ, I. Durum Wheat Cultivars Express Different Level of Resistance to Granary Weevil, *Sitophilus granarius* (Coleoptera; Curculionidae) Infestation. **Insects**, v. 11, n. 6, p. 343, jun. 2020. <https://doi.org/10.3390/insects11060343>.

LOCATELLI, D. P.; CASTORINA, G.; SANGIORGIO, S.; CONSONNI, G.; LIMONTA, L. Suscetibilidade de genótipos de milho a *Rhyzopertha dominica* (F.). **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 126, p. 509-515. 2019.

MACMILLAN, H. A.; WILLIAMS, C. M.; STAPLES, J. F.; SINCLAIR, B. J. Metabolism and energy supply below the critical thermal minimum of a chill-susceptible insect. **Journal of Experimental Biology**, v. 215, n. 8, p. 1366–1372, 15 abr. 2012. <https://doi.org/10.1242/jeb.066381>.

MAGGIONI, K.; SILVA, B. L.; XAVIER, F. Z.; MUNHAE, B. C.; DOURADO, B. R. L.; PAVAN, E. B. Performance of populations of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) on different varieties of maize. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 10, p. 873–881, 10 mar. 2016.

MARPAUNG, D. S. S. Mortality rate of *Sitophilus zeamais* in low temperature storage. **Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian**, v. 15, n. 4, p. 1046–1053, 7 dez. 2021. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v15i4.10718>.

MARSARO JÚNIOR, A. L.; LAZZARI, S. M. N.; FIGUEIRA, E. L. Z.; HIROOKA, E. Y. Inibidores de amilase em híbridos de milho como fator de resistência a *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 443–450, 2005.

MARSARO JÚNIOR, A. L.; VILARINHO, A. A.; PAIVA, W. R. S. C. de.; BARRET, H. C. dos S. Resistência de híbridos de milho ao ataque de *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) em condições de armazenamento. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 6, n. 1, p. 45–50, 2008.

MUTAMBUKI, K.; AFFOGNON, H.; LIKHAYO, P.; BARIBUTSA, D. Evaluation of Purdue improved crop storage triple layer hermetic storage bag against *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) and *Sitophilus zeamais* (Motsch.) (Coleoptera: Curculionidae). **Insects**, v.10, n. 7, p. 204-2019.

MWOLOLO, J. K.; MUGO, S.; TEFERA, T.; MUNYIRI, S. W. Evaluation of traits of resistance to postharvest insect pests in tropical maize. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 6, n. 13, p. 926–933, 2013.

NAWAZ, A.; ALI, Z.; AASI, M. S.; IQBAL, J.; NADEEM, M. Evaluation of quantitative losses of maize genotypes to *Sitophilus zeamais* (Motsch.) (Coleoptera: Curculionidae) under laboratory conditions. **Journal of Agricultural Research**, v. 55, n. 1, p. 55-63, 2017.

NAWROT, J.; GAWLAK, M.; SZAFRANEK, J.; SZAFRANEK, B.; SYNAK, E.; WARCHALEWSKI, J. R.; PIASECKA-KWIATKOWSKA, D.; BŁASZCZAK, W.; JELIŃSKI, T.; FORNAL, J. The effect of wheat grain composition, cuticular lipids and kernel surface microstructure on feeding, egg-laying, and the development of the granary weevil, *Sitophilus granarius* (L.). **Journal of Stored Products Research**, v. 46, n. 2, p. 133–141, 1 abr. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2010.02.001>.

NGOM, D.; FAUCONNIER, M.-L.; MALUMBA, P.; DIA, C. A. K. M.; THIAW, C.; SEMBÈNE, M. Varietal susceptibility of maize to larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera; Bostrichidae), based on grain physicochemical parameters. **Plos One**, v. 15, n. 4, p. e0232164, 24 abr. 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232164>.

NGOM, D.; FAUCONNIER, M.-L.; MALUMBA, P.; THIAW, C.; BRÉVAULT, T.; SEMBÈNE, M. Morphophysical and biochemical traits involved in maize grain varietal susceptibility to the maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae). **Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement**, 2021. Disponível em: <https://agritrop.cirad.fr/601028/>. Acesso em: 16 ago. 2023.

NGUENHA, R.; TIVANA, L.; CONCEIÇÃO, P.; VIOLA, M.; JOÃO, I.; MONJANE, B.; SALVADOR, S.; CHEMANE, I.; KANFWANFWA, N.; BRANQUINHO, D.; LUNGU, O. High-density polyethylene containers and super grain bag reduce storage insect pests' infestation in maize and preserve grain quality. **African Journal of Agricultural Research**, v. 19, p. 662–674, 30 jun. 2023. <https://doi.org/10.5897/AJAR2023.16380>.

NHAMUCHO, E.; MUGO, S.; GOHOLE, L.; TEFERA, T.; KINYUA, M.; MULIMA, E. Resistance of selected mozambican local and improved maize genotypes to maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky). **Journal of Stored Products Research**, v. 73, p. 115-124, 2017.

NORAMBUENA, C.; SILVA, G.; URBINA, A.; FIGUEROA, I.; RODRÍGUEZ-MACIEL, J. C. Insecticidal activity of *Laureliopsis philippiana* (Looser) Schodde (Atherospermataceae) essential oil against *Sitophilus* spp. (Coleoptera Curculionidae). **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 76, n. 3, p. 330–336, set. 2016. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392016000300010>.

NWOSU, L. C. Chemical bases for maize grain resistance to infestation and damage by the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky. **Journal of Stored Products Research**, Elsevier, v. 69, p. 41–50, 2016.

NWOSU, L. C.; OLUKAYODE ADEDIRE, C.; OLUDELE OGUNWOLU, E. Screening for new sources of resistance to *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) infestation in stored maize genotypes. **Journal of Crop Protection**, v. 4, n. 3, p. 277–290, 10 set. 2015.

PARAGINSKI, R. T.; ROCKENBACH, B. A.; SANTOS, R. F. dos; ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. de. Qualidade de grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 358–363, abr. 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p358-363>.

PARAGINSKI, R. T.; VANIER, N. L.; BERRIOS, J. D. J.; DE OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C. Propriedades físico-químicas e de pasta do milho afetadas pela temperatura de armazenamento. **Journal of Stored Products Research**, v. 59, p. 209-214. 2014.

QUIRINO, J. R.; MELO, A. P. C. de; VELOSO, V. da R. S.; ALBERNAZ, K. C.; PEREIRA, J. M. Resfriamento artificial na conservação da qualidade comercial de grãos de milho armazenados. **Bragantia**, v. 72, p. 378–386, 2013. <https://doi.org/10.1590/brag.2013.051>.

RASHID, M.; NAEEM, R. M.; KHAN, M.; ASHFAQ, M. Relative resistance of maize varieties against maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), (Coleoptera: Curculionidae). **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 58, p. 1169–1176, 21 set. 2021. <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/21.45>.

ROCHA, M. P.; TAVEIRA, J. H. da S.; PRADO, S. M. A.; ATAÍDE, M. V. Sistema de armazenamento e incidência dos principais fungos produtores de micotoxinas em grãos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 50176–50193, 23 jul. 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-608>.

SINGANO, C. D.; MVUMI, B. M.; STATHERS, T. E.; MACHEKANO, H.; NYAMUKONDIWA, C. What does global warming mean for stored-grain protection? Options for *Prostephanus truncatus* (Horn) control at increased temperatures. **Journal of Stored Products Research**, v. 85, p. 101532. 2020.

SØMME, L. Supercooling and winter survival in terrestrial arthropods. *Comp. Biochem. Physiol. Part A Mol. Integr. Physiol.* v. 73, p. 519-543. 1982.

SSERUMAGA, Julius P., et al. Evaluation of early-generation tropical maize testcrosses for grain-yield potential and weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) resistance. **Crop Protection**. v. 139, p. 105384, 2021.

STEFANELLO, R. et al. Physiological and sanitary qualities of maize landrace seeds stored under two conditions. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 39, n. 4, p. 339–347, 2015.

SULEIMAN, R.; WILLIAMS, D.; NISSEN, A.; BERN, C. J.; ROSENTRATER, K. A. Is flint corn naturally resistant to *Sitophilus zeamais* infestation? **Journal of Stored Products Research**, v. 60, p. 19–24, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.10.007>.

THRONE, J. E.; EUBANKS, M. W. Resistance of Tripsacorn-introgressed maize lines to *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 64, p. 62–64, 1 out. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2015.08.006>.

TURNOCK, W. J.; FIELDS, P. G. Winter climates and coldhardiness in terrestrial insects. **European Journal of Entomology**, v. 102, n. 4, p. 561–576, 3 nov. 2005. <https://doi.org/10.14411/eje.2005.081>.

UGAGU, G. M.; NWOKE, B. E. B.; OPARA, N. K.; ONWUBUCHE, B. C.; ISIAKA, P. I.; NWOSU, L. C.; ELUWA, A. N.; AJAYI, O. A.; PETGRAVE, G. M.; AGUWA, U. O. Investigations on the inherent resistance of twenty-one maize varieties to maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky at f2 generation. **Asian Journal of Advances in Research**, p. 21–31, 31 maio 2021.

VI, T. X. T.; LE, H. D.; NGUYEN, V. T. T.; LE, V. S.; CHU, H. M. Expression of the ZmDEF1 gene and α -amylase inhibitory activity of recombinant defensin against maize weevils. **Turkish Journal of Biology**, v. 41, p. 98–104, 2017. <https://doi.org/10.3906/biy-1512-64>.

ZHANG, H.; WANG, D.; JIAN, F. Movement and distribution of *Sitophilus zeamais* adults and relationship between their density and trapping frequency in wheat bulks

under different grain temperatures and moisture contents. **Journal of Stored Products Research**, v. 87, p. 101590, maio 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101590>.

ZIEGLER, V.; PARAGINSKI, R. T.; FERREIRA, C. D. Grain storage systems and effects of moisture, temperature and time on grain quality-A review. **Journal of Stored Products Research**, v. 91, p. 101770. 2021.