



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB

FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA – FAV

ANA CAROLINE ALVES DE ARAÚJO

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE MILHO E
DA AÇÃO DE REPELÊNCIA DO OZÔNIO SOBRE *Sitophilus
zeamais* (Coleoptera: Curculionidae)**

BRASÍLIA, DF

JULHO – 2023



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB

FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA – FAV

ANA CAROLINE ALVES DE ARAÚJO

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE MILHO E
DA AÇÃO DE REPELÊNCIA DO OZÔNIO SOBRE *Sitophilus
zeamais* (Coleoptera: Curculionidae)**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Agronomia apresentado à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como requisito para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Cristina Schetino Bastos.

BRASÍLIA, DF

JULHO – 2023

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAUJO, A. C. A. Avaliação da resistência de genótipos de milho e da ação de repelência do ozônio sobre *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2023, 37p. Monografia de Graduação.

Cessão de direitos

Nome do Autor: Ana Caroline Alves de Araújo

Título: Avaliação da resistência de genótipos de milho e da ação de repelência do ozônio sobre *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae)

Ano: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desse relatório e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação, e nenhuma parte desse relatório pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

FICHA CATALOGRÁFICA

AA663a	Araújo, Ana Caroline Alves de Avaliação da resistência de genótipos de milho e da ação de repelência do ozônio sobre <i>Sitophilus zeamais</i> (Coleoptera: Curculionidae) / Ana Caroline Alves de Araújo; orientador Cristina Schetino Bastos. -- Brasília, 2023. 37 p. Monografia (Graduação - Agronomia) -- Universidade de Brasília, 2023. 1. Preferência ou não-preferência do <i>Sitophilus zeamais</i> 2. Medidas alternativas de controle I. Bastos, Cristina Schetino, orient. II. Título.
--------	--

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS DE MILHO E
DA AÇÃO DE REPELÊNCIA DO OZÔNIO SOBRE *Sitophilus
zeamais* (Coleoptera: Curculionidae)**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Agronomia apresentado à
Faculdade de Agronomia e Medicina
Veterinária da Universidade de Brasília,
como requisito para obtenção do título de
Engenheira Agrônoma.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Cristina Schetino
Bastos.

APROVADO POR:

**CRISTINA SCHETINO BASTOS, DSc. Fitotecnia – Entomologia/ Universidade
de Brasília/ ORIENTADORA/ E-mail: cschetino@unb.br**

**ERNANDES RODRIGUES DE ALENCAR, DSc. Engenharia
Agrícola/Universidade Federal de Viçosa – Viçosa/ AVALIADOR/ E-mail:
ernandes.alencar@ufv.br**

**ANA MARIA RESENDE JUNQUEIRA, DSc. Doutorado em Produção
Vegetal/University of Wales - Grã-Bretanha / AVALIADORA/ E-mail:
anamaria@unb.br**

Dedico este trabalho a todos aqueles que estiveram do meu lado nessa trajetória, principalmente a minha família que foi meu combustível para os dias mais difíceis!

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela oportunidade e por ter me proporcionado chegar até aqui.

À minha família, principalmente a minha mãe, meu pai, meu irmão e minha irmã por sempre ser uma rede de apoio ao longo desses anos. Pela amizade e pelo amor incondicional, essa conquista não é minha, mas nossa.

Ao meu namorado, por todo amor, incentivo e por sempre acreditar em mim, até mesmo quando eu não acreditei.

À Professora Cristina Schetino Bastos, por ser mais do que uma orientadora, mas uma grande amiga, que sempre demonstrou apoio e carinho durante toda essa nossa caminhada juntas. Por ter construído não só uma equipe de trabalho eficiente, mas uma equipe de amigos que se ajudam e torcem uns pelos outros.

Ao meu “agrosow” que se uniu no início da faculdade e permanece até hoje, mesmo algumas não permanecendo no curso, cada uma teve um papel fundamental nessa trajetória.

Aos meus amigos do Laboratório de Proteção de Plantas, foram muitos no decorrer desses anos, mas alguns estão em meu coração e não se resumiram apenas a amigos de laboratório, mas amigos para a vida.

A todos que conheci durante essa caminhada, cada um me inspirou, me ensinou e compartilhou momentos inesquecíveis, que me transformou de menina para mulher.

A Universidade de Brasília e todo o seu corpo docente.

Por último, mas não menos importante, a mim mesma por ter tido foco e não ter desistido.

“Os nossos sonhos merecem a nossa disciplina.”

(Wandy Luz)

RESUMO

O milho (*Zea mays*) é um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos em todo o mundo. Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor de milho e está liderando o ranking de exportações dessa *commodity*, entretanto para alcançar maiores produtividades é necessário reduzir as perdas durante o armazenamento, sendo o principal responsável por essas perdas o gorgulho-do-milho (*Sitophilus zeamais* Coleoptera; Curculionidae). O objetivo deste trabalho foi avaliar a preferência do gorgulho por diferentes genótipos de milho e o efeito de repelência da ozonização no controle desse inseto. Nos testes de preferência, foram testados 15 genótipos de milho: KWX 1001 a 1010, BR106 (milho comum), 30s31VYHR (contendo as toxinas Bt IP3Aa20 x Cry1Ab x Cry1F), Superdoce, 30s31 (isolinha de 30s31VYHR sem toxinas Bt) e milho Pipoca (BAS 5802). Foram realizados seis bioensaios com chance de escolha (arena de 15 escolhas) para avaliar a preferência do inseto, sendo três com machos e três com fêmeas. Já em relação aos testes de repelência com o ozônio, foram testados grãos de três genótipos (Superdoce, BR 106 e milho Pipoca) que foram tratados com ozônio ou oxigênio, foi utilizado um olfatômetro de quatro vias por um período de 10 minutos em cada ensaio, onde foi avaliado o tempo médio, em segundos, para primeira escolha e de residência, além do número de vezes que cada fêmea adentrou cada braço. Os genótipos mais preferidos por machos de *S. zeamais* foram Superdoce e KWX 1009 enquanto os menos preferidos foram KWX 1003, 1005, 1007, 1008, 1010 e 30s31VYHR. Já no caso das fêmeas de *S. zeamais* os genótipos mais preferidos foram Superdoce, KWX 1009 e BR 106 enquanto os menos preferidos foram KWX 1004, 1005, 1006, 1007 e 1008. Em relação aos testes de repelência com o ozônio, os genótipos Superdoce e BR 106, considerados os mais suscetíveis, foram os que se beneficiaram da ação de repelência promovida pelo gás ozônio.

Palavras- chave: Integração, medidas alternativas de controle, resistência hospedeira.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivos gerais	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	3
3.1. Milho	3
3.2. Gorgulho-do-milho (<i>Sitophilus zeamais</i>)	5
3.3. Métodos de controle.....	7
4. MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1. Genótipos	10
4.2. Insetos	10
4.3. Teste com chance de escolha.....	11
4.4. Associação do uso de ozônio e de genótipos selecionados	11
4.5. Análise dos dados.....	13
5. RESULTADOS	13
6. DISCUSSÃO	17
7. CONCLUSÕES	19
8. REFERÊNCIAS	20

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* Poaceae) é um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos em todo o mundo, compondo a base alimentar tanto para alimentação humana quanto para a animal (MLYNEKOVÁ; ČEREŠŇÁKOVÁ, 2013). Ademais, sua utilização é ampla englobando indústrias química, farmacêutica, de papéis e têxtil (PAES, 2006). Dados da FAO (2023), demonstram que os Estados Unidos é o maior produtor mundial de milho, seguido da China e do Brasil. Já no cenário nacional, as regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste se destacam em relação a produção de milho, sendo essas responsáveis por mais da metade da produção nacional (BRASIL, 2023a). Apesar da maior parte dessa produção ser destinada ao consumo interno (BRASIL, 2023b), atualmente, o Brasil tem aumentado o ritmo das exportações de milho, a fim de se tornar o maior exportador mundial de milho (USDA, 2023).

Entretanto, a produção brasileira de milho necessita evoluir alguns aspectos para alcançar produtividades cada vez maiores, incluído o armazenamento. Atualmente, estima-se que 61,6% das perdas de pós-colheita de milho ocorrem no armazenamento, podendo essas perdas serem causadas por fatores bióticos (grãos, insetos, microflora) e abióticos (impurezas, estrutura da armazenagem, umidade, temperatura) (PÉRA; BARTHOLOMEU, 2022). Em relação aos fatores bióticos, o ataque de insetos-praga é o principal responsável pelas perdas na fase de armazenamento, com destaque para o *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) (SANTOS; MANTOVANI, 1997), que caso não seja controlado, leva a perdas na produção de milho que podem alcançar até 90% (GIGA et al., 1991).

O *S. zeamais*, conhecido popularmente como gorgulho-do-milho ou caruncho, apresenta distribuição cosmopolita (LÓPEZ- CASTILLO et al., 2018), uma elevada gama de hospedeiros e infesta cultivos de maneira cruzada, ou seja, desde o campo até o armazém (CAMPOS, 2005; LORINI et al., 2010), sendo considerado uma das pragas primárias de armazenamento mais severas e comuns do mundo (HILL, 1983; HAINES, 1991). As perdas causadas pelo gorgulho-do-milho podem ser por danos diretos, quando causadas pela alimentação direta dos insetos-pragas e/ou por danos indiretos, através do favorecimento da incidência de patógenos oportunistas, como os fungos, assim como de pragas secundárias e de ácaros que se desenvolvem na poeira formada devido ao consumo dos grãos (FARONI, 1992; CANEPPELE et al. 2003). As consequências dessas perdas

incluem perda de peso, redução da qualidade fisiológica das sementes, decréscimo do valor nutricional e de mercado do produto (FARONI, 1992; CANEPPELE et al. 2003).

A fim de minimizar as perdas causadas pelo gorgulho, a fosfina (fosfeto de magnésio e alumínio), atualmente, é o produto mais utilizado na fumigação ou expurgo no Brasil, para controle curativo do *S. zeamais* (PIMENTEL et al., 2008; BRASIL, 2023c). Embora existam produtos registrados dos grupos químicos dos piretroídeos e organofosforados para controle dessa praga, esses possuem apenas ação de contato (PEREIRA et al., 2009; LORINI et al., 2015; BRASIL, 2023c). Logo, devido à essa forte dependência da fosfina e da restrição de alternativas para rotação de ingredientes ativos para o controle do gorgulho, o manejo dessa praga é limitado, aumentando dessa forma a possibilidade de desenvolvimento de resistência no inseto (PEREIRA et al., 2009; PIMENTEL et al., 2008; SANTOS et al., 2009; GUEDES, 1991).

O desenvolvimento de resistência à fosfina em várias espécies que infestam o ambiente de armazenamento ao longo de todo o globo terrestre coloca a viabilidade e sustentabilidade da fosfina em risco (NAYAK et al., 2020). A resistência tem sido agravada nas últimas duas décadas, principalmente devido à inexistência de alternativas de controle apropriadas, principalmente no que concerne a efetividade de controle comprovada da fosfina contra grupos variados de praga (amplo espectro), a compatibilidade do tratamento com a maioria das condições de armazenamento e a aceitabilidade local e internacional do tratamento em virtude de ser um tratamento que é livre de resíduos, findo o período de carência (NAYAK et al., 2020). Desta forma, a busca por métodos de controle alternativos aos insetos que infestam o ambiente de armazenamento é crucial.

Um dos métodos de controle alternativos a essa praga é a busca por genótipos resistentes ao gorgulho-do-milho. Sabe-se que os diferentes tipos de grãos cultivados no Brasil e no mundo apresentam uma variabilidade em relação à resistência às pragas (GARCÍA-LARA et al., 2004). Devido a isso, a infestação e o desenvolvimento dos insetos são afetados pelas alterações químicas, como a qualidade nutricional do genótipo (GARCÍA-LARA et al., 2004), compostos fitoquímicos envolvidos na manifestação da resistência (ARNASON et al., 1992; WARCHALEWSKI et al., 2002; BERGVINSON; GARCÍA-LARA, 2004; SANTIAGO; MALVAR, 2010; NWOSU, 2016), e alterações

físicas e morfológicas, como a dureza dos grãos (TIPPING et al., 1988; LARA, 1991) e o seu formato (duro - flint, dentado, doce ou pipoca) (SULEIMAN et al, 2015).

Além desse método, o emprego do gás ozônio (O₃), atualmente, está entre as principais formas de controle alternativo do gorgulho, devido a sua rápida degradação, seu alto poder oxidativo e a sua capacidade de penetração em profundidade na massa de grãos (TIWARI et al., 2010; SILVA et al., 2022). Ademais, o ozônio vem se popularizando por ser uma alternativa ecologicamente e economicamente viável para a manutenção e preservação da qualidade dos grãos (ROZADO et al., 2008; SILVA et al., 2022). Nesse aspecto, estudos objetivando selecionar genótipos resistentes ao gorgulho e o efeito sinérgico da resistência hospedeira ao efeito de repelência que pode ser causado pelo gás ozônio podem apresentar alternativas viáveis de controle a serem agregadas ao programa de manejo de *S. zeamais* em grãos de milho armazenados.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos gerais

Avaliar a preferência do gorgulho a diferentes genótipos de milho e o efeito de repelência da ozonização no controle desse inseto.

2.2. Objetivos específicos

1. Avaliar a existência de preferência ou não-preferência entre os diferentes genótipos de milho ao *S. zeamais*;
2. Avaliar o efeito de repelência do inseto pela associação entre genótipos selecionados e o uso do ozônio.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Milho

O milho (*Zea mays*) pertence à família Poaceae, tendo como centro de origem o México (HALLAUER; DARRAH, 1985). Ele é um dos cereais cultivados mais importantes do mundo, sendo utilizado no consumo direto, indústrias e fabricação de embalagens (JORNAL AGROCERES, 1994). Ademais, esse é utilizado como fonte primária de fornecimento de energia e proteína em países em desenvolvimento, tanto para

alimentação humana quanto para alimentação animal (MLYNEKOVÁ; ČEREŠŇÁKOVÁ, 2013), embora no Brasil, a maior parte da produção seja destinada ao consumo animal (ABIMILHO, 2023).

O milho é uma espécie anual, possui o fruto do tipo cariopse, comum nas gramíneas, sendo sua classificação baseada na forma, tamanho dos grãos, e estrutura do endosperma (PAES, 2006). Baseado nessas características, existem cinco classes de milho: dentado, pipoca, doce, farináceo e duro/flint, entre os quais, o duro/flint é o milho comercial mais produzido nacionalmente (BOUTARD, 2012; PAES, 2006).

No cenário mundial, o Brasil é o terceiro maior produtor dessa commodity com uma produção de 88.461.943 mil ton, estando atrás apenas dos Estados Unidos (272.552.000 mil ton) e da China (383.943.000 mil ton) (FAO, 2023). Atualmente, a época de maior produção de milho no Brasil é a segunda safra brasileira, conhecida como safrinha, isso porque o plantio do milho em sucessão a colheita da soja, tem permitido uma maior produtividade, devido ao efeito residual de fertilizantes aplicados na soja (REIS et al., 2016).

Na safra brasileira de 21/22, a produção de milho da segunda safra foi de 85.892,4 mil toneladas, enquanto a produção da primeira e terceira safras foi de 25.026,0 e 2.211,9 mil toneladas, respectivamente (BRASIL, 2023b). Na mesma safra, as regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste se destacaram com 64.210,1 mil ton, 21.467,9 mil ton, 12.054,9 mil ton de milho total (dados das três safras), respectivamente. Dentro dessas regiões, os estados que concentraram maior produção, em ordem decrescente de magnitude, foram Mato Grosso, Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais, sendo esses responsáveis por aproximadamente 78% da produção total de milho brasileira (BRASIL, 2023a).

Mais da metade da produção nacional de milho é destinada ao consumo interno, sendo necessário que durante o período compreendido entre a colheita e a comercialização, parte da produção seja armazenada, com o objetivo de garantir a disponibilidade de estoques-reguladores de preço agrícola (BRASIL, 2023b; POSSAMAI; PESCADOR; MAYERLE, 2014). Entretanto, o armazenamento de grãos de milho no Brasil é precário e possui um déficit na sua capacidade em relação a produção (BRASIL, 2023d). Estima-se que 61,6% das perdas de pós-colheita de milho ocorrem no armazenamento; no entanto, as consequências dessas perdas dependem de fatores bióticos

(grãos, insetos, microflora) e abióticos (impurezas, estrutura da armazenagem, umidade, temperatura) (PÉRA; BARTHOLOMEU, 2022).

Sabe-se que o ataque de insetos-praga é o principal responsável pelas perdas no armazenamento, com destaque para o gorgulho-do-milho (*Sitophilus zeamais* Coleoptera: Curculionidae) (SANTOS; MANTOVANI, 1997). Essas perdas podem ser quantitativas, quando causadas pela alimentação direta dos insetos-pragas e qualitativas, caso resultem em decréscimo do valor nutricional dos grãos e da qualidade fisiológica da semente (FARONI, 1992). Independentemente do tipo de perda, essas afetam diretamente os valores nutritivos e comerciais do milho, podendo até mesmo condenar, totalmente ou parcialmente, lotes de sementes e/ou grãos (ANDERSON et al., 1990; CANEPPELE et al., 2003).

3.2. Gorgulho-do-milho (*Sitophilus zeamais*)

O gorgulho-do-milho ou caruncho, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera), pertence à família Curculionidae, tendo como principais características o rostro, que é o prolongamento da cabeça, que apresenta na extremidade as peças do aparelho bucal mastigador e as antenas clavadas e geniculadas (CABI, 2022). Suas larvas são curculioniformes (formato de C) e possuem uma pigmentação amarelo-clara, com a cabeça de cor marrom-escura e as pupas são de coloração branco-leitosa (MOUND, 1989; BOOTH et al., 1990; CABI, 2022).

Os adultos são gorgulhos de aproximadamente 3 mm e formato alongado, com coloração marrom-escuro e manchas mais claras no élitro que podem ser observadas após sua emergência (LORINI; SCHNEIDER, 1994; LORINI et al., 2015). As fêmeas de *S. zeamais* apresentam um rostro mais longo e afilado, diferentemente dos machos em que essa estrutura é mais curta e grossa (MOUND, 1989; BOOTH et al., 1990). Seu período de oviposição é de 104 dias, e 282 é o número médio de ovos depositados por fêmea (LORINI et al., 2007; SANTOS et al., 2003). A longevidade dos machos é de 142 dias, enquanto das fêmeas é de 140 dias (LORINI et al., 2007; SANTOS et al., 2003). O período de incubação dos ovos varia entre 3 e 6 dias, e o ciclo total, de ovo a adulto, é de 34 dias (LORINI et al., 2007; SANTOS et al., 2003).

O caruncho é uma das pragas primárias de armazenamento mais severas e comuns do mundo (HILL, 1983; HAINES, 1991). Ele apresenta uma distribuição cosmopolita,

ocorrendo em diversas regiões quentes e úmidas (LÓPEZ- CASTILLO et al., 2018). Tanto a fase larval quanto a fase adulta desse inseto são capazes de danificar sementes ou grãos intactos ou com injúria prévia, reduzi-los a pó através da alimentação dos adultos e desenvolvimento de estágios imaturos dentro do grão (MARKHAM et al., 1995; LONGSTAFF et al., 1981). A preferência do *S. zeamais* é o milho, entretanto esse inseto apresenta uma elevada gama de hospedeiras, incluindo trigo, arroz, triticale, cevada e aveia, podendo infestar cultivos de maneira cruzada, ou seja, desde o campo até o armazém (CAMPOS, 2005; LORINI et al., 2010).

Uma das consequências dos grãos de milho atacados pelo gorgulho-do-milho é o decréscimo da qualidade fisiológica, diminuição do peso e o aumento da suscetibilidade dos grãos à infecção por fungos, pragas secundárias e ácaros que se desenvolvem sobre a poeira decorrente do ataque (DEVI et al., 2017). Ademais, há redução do seu valor nutricional e de mercado (CANEPPELE et al. 2003). Caso medidas de controle não sejam adotadas, as perdas na produção de milho podem alcançar até 90% (GIGA et al., 1991). Essas perdas dependem de outros fatores, tais como a população inicial de *S. zeamais* na colheita, a temperatura e o teor de umidade no armazenamento que influencia a taxa de reprodução do inseto, assim como do genótipo de milho infestado (DOBIE et al., 1984).

Além dos danos diretos causados no milho pelo gorgulho, há a incidência de patógenos oportunistas, como os fungos. Esses produzem centenas de micotoxinas que dependendo dos teores presentes nos alimentos e rações, causam problemas à saúde humana e animal (MOSS, 1998). Dentre as micotoxinas existentes, as aflatoxinas merecem destaque, pois estão entre as principais classe de micotoxinas. Os fungos, *Aspergillus flavus* e *A. parasiticus*, são os principais agentes causais das aflatoxinas. Seus efeitos variam entre morte aguda e doenças crônicas, dependendo da frequência e da dosagem, dado que a exposição por longos períodos leva à ocorrência de tumores em vários animais (CAST, 2003).

Estudos anteriores constataram carunchos naturalmente contaminado com esporos de *A. flavus* em grãos de milho, visto que esses foram eficientes em transportar os esporos sem sofrer aflatoxicose (DIX, 1984). Além disso, outros trabalhos demonstraram que a interação do *S. zeamais* e *A. flavus* favoreceu a produção de micotoxinas e crescimento fúngico, devido ao aumento da umidade em resultado da atividade metabólica dos

gorgulhos e a uma maior área favorável ao crescimento fúngico (BETI; PHILLIPS; SMALLEY, 1995).

Desta forma, métodos de controle eficientes para o caruncho devem ser buscados visando evitar as perdas decorrentes do ataque direto e indireto. Embora a injúria causada em campo possa ser compensada pelo aumento da produtividade de plantas não atacadas e pelo restabelecimento das plantas danificadas, os prejuízos ocasionados no armazenamento são irreparáveis (FONTES; ALMEIDA FILHO; ARTHUR, 2003). Dessa forma, é essencial empregar métodos de controle que contribuam para melhor preservação do milho, evitando perdas.

3.3. Métodos de controle

No Brasil, a fumigação ou expurgo é o método de controle curativo de *S. zeamais* utilizado em ambiente de armazenamento, sendo a fosfina (fosfeto de magnésio e alumínio) o produto mais utilizado para essa prática (PIMENTEL et al., 2008; BRASIL, 2023d). Além da fosfina, existem produtos registrados dos grupos químicos dos piretroídes e organofosforados para o controle desse inseto em milho armazenado, porém de ação de contato (PEREIRA et al., 2009; LORINI et al., 2015; BRASIL, 2023d). Apesar desses produtos serem eficientes para o controle do gorgulho, o seu uso contínuo é uma das limitações para o manejo dessa praga, visto que o uso contínuo e o número restrito de ingredientes ativos disponíveis para rotação aumentam as chances de desenvolvimento de resistência (PEREIRA et al., 2009; PIMENTEL et al., 2008; SANTOS et al., 2009; GUEDES, 1991).

Atualmente, já existem estudos objetivando detectar as populações resistentes de *S. zeamais* no Brasil. Guedes et al. (1995) identificaram populações do gorgulho-do-milho resistentes a piretróides em estados nacionais, embora esse grupo químico ainda não tivesse sido utilizado em condições de armazenamento em algumas dessas populações. Além disso, Pimentel et al. (2008) avaliaram a resistência à fosfina em quatro espécies diferentes de insetos-pragas em grãos armazenados, incluindo *S. zeamais*, sendo nessa pesquisa observado que as populações de indivíduos resistentes de todas as espécies testadas apresentaram redução da taxa respiratória, a fim de reduzir a captação do gás, configurando assim como um mecanismo de resistência a fosfina. No que pese os resultados encontrados utilizando-se populações do inseto nacionais, estudos com

populações prevalentes em outros locais do mundo (60 países representantes das seis maiores regiões continentais do mundo) não detectaram resistência de *S. zeamais* à fosfina, apesar da resistência ter sido detectada em outras espécies tais como *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) e *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) (NAYAK et al., 2020).

De todo modo, os estudos comprovam que o uso constante de inseticidas fumigantes (fosfina) e protetores (piretróides) contribuem para o surgimento de insetos-pragas resistentes em grãos armazenados, algo que ocorre devido as condições inadequadas em que os expurgos são realizados nos armazéns e a ausência de produtos no mercado com ingredientes ativos alternativos para serem usados na rotação dos modos de ação (LORINI et al., 2007; PIMENTEL et al., 2007; SANTOS et al., 2009). Por isso, estudos que busquem métodos de controle alternativos para *S. zeamais* vêm se tornando uma necessidade.

Estudos recentes mostram o potencial fumigante de óleos essenciais de plantas aromáticas no controle eficaz de gorgulho-do-milho. Patiño-Bayona et al. (2021) determinaram concentrações letais para 14 amostras de óleos essenciais de plantas aromáticas e 17 dos seus principais constituintes ativos (monoterpenos), sendo que os óleos essenciais de *Lavandula stoechas* e *Lavandula alba* apresentaram o maior potencial fumigante, com valores de CL₅₀ de 303,4 e 254,1 µL/L de ar, respectivamente, sendo uma alternativa viável para o controle dessa praga.

A busca por genótipos resistentes a *S. zeamais* é outra possível alternativa de controle, visto que os diferentes tipos de grãos cultivados no Brasil e no mundo apresentam uma variabilidade em relação à resistência às pragas (GARCÍA-LARA et al., 2004; NWOSU; ADEDIRE; OGUNWOLU, 2015; NWOSU, 2016). Nesse sentido, a infestação e o desenvolvimento dos insetos são afetados por alterações químicas, físicas ou morfológicas nos genótipos atuando de maneira isolada ou conjuntamente (NWOSU; ADEDIRE; OGUNWOLU, 2015; NWOSU, 2016). Dentre as causas químicas, a qualidade nutricional do genótipo que inclui os teores de açúcar, proteína e aminoácido é reconhecido como um fator determinante da suscetibilidade (GARCÍA-LARA et al., 2004). Além disso, outros compostos fitoquímicos estão envolvidos na manifestação de resistência, tais como: ácidos fenólicos, alcaloides, teor de α -amilase e inibidores de proteinase (ARNASON et al., 1992; WARCHALEWSKI et al., 2002; BERGVINSON;

GARCÍA-LARA, 2004; SANTIAGO; MALVAR, 2010; NWOSU, 2016). Já em relação as alterações físicas, a dureza dos grãos é considerada uma das causas de não-preferência dos gorgulhos (TIPPING et al., 1988; LARA, 1991), sendo essa característica afetada pelo formato do grão (duro - flint, dentado, doce ou pipoca) (SULEIMAN et al, 2015).

Essa resistência por não-preferência ou antixenose faz com que o hospedeiro seja menos preferido pelo inseto para alimentação, oviposição ou abrigo, reduzindo o tempo de contato entre o inseto e o hospedeiro, assim como as chances de colonização (OLESZCZUK et al., 2020). Nesse tipo de resistência, o hospedeiro exerce um efeito adverso no comportamento do inseto, alterando-o, ao passo que na resistência por antibiose o hospedeiro exerce um efeito adverso sobre a história de vida ou biologia do inseto (STOUT, 2013). Apesar de os testes com e sem chance de escolha terem sido usados anteriormente de maneira distinta para categorizar ou confirmar as categorias de resistência por antixenose ou antibiose (SUINAGA et al., 2004; MOREIRA et al., 2013), atualmente essa distinção não é feita ou aceita. Isso se dá em decorrência do fato de que ao considerar a antixenose como causadora de todos os efeitos que influenciam o comportamento do inseto, incluindo o reconhecimento, aceitação e utilização do hospedeiro, torna-se impossível separar a antixenose da antibiose, dado que as duas categorias de resistência se sobrepõem e afetam esses comportamentos de maneira conjunta ou combinada (STOUT, 2013). A razão para a sobreposição é decorrente da coexistência, senão em todas, ao menos na maioria das plantas resistentes, de múltiplos fatores causadores de resistência incluindo compostos com ação repelente, deterrente, tóxica ou antinutritiva (STOUT, 2013).

O emprego do gás ozônio (O₃), atualmente, está entre as principais formas alternativas ao uso da fosfina para controle do gorgulho-do-milho, devido a sua ação oxidante e por ser uma alternativa ecologicamente e economicamente viável para a manutenção e preservação da qualidade dos grãos (ROZADO et al., 2008). Além disso, ele não apresenta efeito negativo na qualidade do produto final, devido a sua meia vida curta e de seu produto de degradação ser o oxigênio (MENDEZ et al., 2003). Desta forma, o ozônio tem sido considerado como alternativa para o manejo integrado de pragas (MIP) de produtos armazenados, podendo ser uma alternativa à dependência de inseticidas fumigantes e protetores para o controle de *S. zeamais*.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Genótipos

Para a realização dos testes com chance de escolha foram testados 15 genótipos de milho grão, sendo eles: KWX 1001, KWX 1002, KWX 1003, KWX 1004, KWX 1005, KWX 1006, KWX 1007, KWX 1008, KWX 1009, KWX 1010, BR106, 30s31VYHR (contendo as toxinas Bt VIP3Aa20 x Cry1Ab x Cry1F), BRS 400 (milho superdoce), 30s31 (isolinha de 30s31VYHR sem toxinas Bt) e BAS 5802 (milho pipoca). Esses genótipos foram cedidos por parceiros, visto que do KWX 1001 ao KWX 1010 foram oriundos do estado da Bahia, o 30s31VYHR e o 30s31 são comercializados pela Pioneer, o BR106 e o BRS 400 são comercializados pela Embrapa e o BAS 5802 é comercializado pela Syngenta e adquirido da empresa Basso Semillas.

A partir dos resultados do teste com chance de escolha, três genótipos do milho foram selecionados para a utilização nos testes no olfatómetro, sendo os genótipos selecionados o BRS 400 (milho superdoce), o BRS 5802 (milho pipoca) e o BR 106 (milho comum).

4.2. Insetos

Os insetos (*S. zeamais*) foram obtidos de criação mantida no Laboratório de Proteção de Plantas da Universidade de Brasília, sobre o genótipo Doce Cristal (milho doce) armazenado em baldes plásticos de 20 litros de capacidade contendo uma abertura recoberta com organza para aeração. Os insetos foram mantidos sob condições ambientais prevalentes no Laboratório de Proteção de Plantas. Para a utilização dos insetos nos testes foram seguidos os procedimentos de sexagem descritos em Padil (2018) e Haslthead (1963), baseados na presença de rostró relativamente mais comprido e estreito, contendo puncturas ao longo do mesmo em linhas regulares e sem se tocarem nas fêmeas, enquanto nos machos o rostró apresenta-se mais curto e largo, com puncturas não organizadas em linhas e sempre tocando umas nas outras. Para os testes com chance de escolha, os insetos foram mantidos sem contato com grãos para alimentação e oviposição por pelo menos 24 horas antes do início do bioensaio.

4.3. Teste com chance de escolha

Para a realização dos testes com chance de escolha, foram utilizadas arenas construídas com recipientes plásticos redondos de 3.500 mL de capacidade, sendo em seu diâmetro dispostos tubos Falcon de maneira equidistante e fixados com auxílio de cola quente e fita veda rosca. No interior de cada tubo Falcon, foram usados 4 g de cada tratamento (15 genótipos) avaliado, que foram alocados ao acaso em cada uma das posições. Os tratamentos foram dispostos no delineamento inteiramente casualizado com três repetições, sendo realizados três bioensaio. Em cada bioensaio foram utilizadas seis arenas, sendo três com fêmeas e três com machos. Cada arena recebeu 50 fêmeas ou 50 machos de *S. zeamais* de 7 dias de idade.

As avaliações foram realizadas 30, 60, 90, 150, 270, 390, 540, 1.440, 2.880 e 4.320 minutos após o início do bioensaio, sendo nelas contabilizados o número de insetos encontrado em cada tratamento e os que não estavam sobre nenhum tratamento. Após a última avaliação, os insetos foram descartados.

4.4. Associação do uso de ozônio e de genótipos selecionados

Para a realização deste bioensaio, foram testadas 5 g de grãos de cada genótipo selecionado (BR106, BRS 400 e BAS 5802). No primeiro momento, as amostras foram acomodadas de forma individualizada em sacos de organza de 15,5 x 24,5 cm (largura x comprimento). Foram utilizados quatro sacos com o mesmo genótipo por bioensaio, de modo que três desses sacos (3 amostras de 5 g de grãos = 15g de grãos) foram expostos à ozonização em uma câmara de ozonização (dosagem de 5 L/min e fluxo de 4 L/min) por 30 minutos, enquanto o quarto saco (testemunha) foi submetido ao oxigênio em uma bomba de aquário com fluxo de 0,8 L/min pelo mesmo período de exposição. A cada novo bioensaio as amostras foram substituídas e os grãos foram tratados seguindo as mesmas condições, descritas anteriormente.

Para a ozonização dos grãos, foi utilizado um gerador de ozônio (Modelo O&L 3.0-O2-RM) produzido pela empresa Ozone & Life em uma câmara de ozonização composta por recipientes de vidro de 850 mL de capacidade com tampa adaptada para passagem de ozônio gerado pelo método de descarga por barreira dielétrica. Após a exposição dos grãos ao ozônio, esses foram acondicionadas no interior de seringas de vidro (10 mL), de modo que essas possibilitavam acesso ao olfâmetro de quatro vias, a

partir de mangueiras de silicone (8 mm de diâmetro total e 4 mm de diâmetro do furo central). O olfatômetro é composto por uma placa de acrílico (16,5 cm x 16,5 cm) e possui um desnível no formato de "X" (corpo com 16,5 cm e 4,1 cm para cada braço), modificado de Vet et al. (1983), proporcionando quatro possibilidades de escolhas, sendo essa categoria de olfatômetro apropriada para medir o efeito de repelência de um composto químico a um determinado inseto.

Uma corrente de ar regulada por fluxômetro a 0,8 L/min foi distribuída uniformemente entre os quatro braços (0,2 L/min por braço), sendo essa corrente conduzida para o interior do olfatômetro, passando anteriormente pelo carvão ativado e pela água destilada, filtrando e umidificando, respectivamente. Ao ligar o sistema, uma bomba de sucção foi conectada a uma cavidade no centro da placa de acrílico, a fim de regular o fluxo da corrente de ar para 0,4 L/min, permitindo assim a distribuição de ar uniforme para o sistema (0,2 L/min por via do olfatômetro).

Em cada bioensaio realizado no olfatômetro, três braços continham amostras de um mesmo genótipo ozonizadas e uma amostra do mesmo genótipo não ozonizada (branco); os braços do olfatômetro foram rotacionados entre ensaios. Após a montagem de todo o equipamento, a primeira fêmea de *S. zeamais* foi introduzida através do orifício central superior do olfatômetro e o tempo começou a ser contabilizado. Os insetos foram mantidos no olfatômetro por 10 minutos, sendo utilizada uma fêmea por bioensaio. Caso não houvesse reação da fêmea após 1 minuto, essa era considerada não responsiva e, portanto, descartada do teste. Foram avaliados nesses testes o tempo médio, em segundos, para primeira escolha e o tempo de residência (tempo de permanência em cada braço), além do número de vezes que cada fêmea adentrou cada braço. O tempo total de permanência em um determinado tratamento foi calculado através da soma do tempo gasto nas diferentes entradas do inseto naquele tratamento. A escolha do inseto foi determinada quando percorrida uma distância de 15 cm em um braço (possuindo uma marcação para separação dos 4 braços no formato de um quadrado com as paredes desenhadas a 1 cm do centro da placa de acrílico), sendo considerada a primeira escolha quando o inseto permanecia, por pelo menos 20 segundos em um mesmo braço. A higienização dos componentes do olfatômetro foi realizada a cada 5 fêmeas testadas, utilizando detergente neutro na lavagem e a secagem realizada em estufa com circulação de ar a 40° C.

4.5. Análise dos dados

Para os ensaios com chance de escolha foi realizada a média dos três bioensaios e dos 10 tempos de avaliação, separadamente para machos e fêmeas de *S. zeamais*. Os dados médios esses foram submetidos ao teste não-paramétrico Kruskal-Wallis, seguido de Teste Tukey HSD a $P < 0,05$. Os dados dos ensaios realizados no olfatômetro, com fêmeas de *S. zeamais*, foram comparados considerando apenas dois tratamentos: controle e grãos ozonizados. Desta forma, os dados relativos ao total de entradas, tempo total gasto no tratamento, tempo para primeira escolha e tempo de residência nos três braços do olfatômetro que continham os grãos ozonizados foram somados e depois reduzidos para a média. Em seguida, essas variáveis foram comparadas entre o tratamento controle e grão ozonizados por teste de χ^2 a $P > 0,05$, para verificar se a frequência com que um determinado acontecimento ocorreu se desviava significativamente ou não da frequência com que se esperava que ele ocorresse.

5. RESULTADOS

Nos testes com chance de escolha, os machos apresentaram preferência pelo genótipo Superdoce, que não diferiu estatisticamente dos genótipos KWX1009, 30s31, KWX 1001, Pipoca e BR 106 (Figura 1). Os genótipos menos preferidos foram os genótipos KWX 1003, 1005, 1007, 1008 e 30s31VYHR que diferiram do Superdoce e de KWX1009, não diferindo, entretanto, dos demais genótipos testados (Figura 1). No caso das fêmeas de *S. zeamais*, os genótipos mais preferidos foram o Superdoce, KWX 1009, BR 106, KWX 1001 e 30s31, que não diferiram estatisticamente entre si (Figura 2). Os genótipos menos preferidos pelas fêmeas de *S. zeamais* foram KWX 1004, 1005, 1006, 1007 e 1008 que diferiram estatisticamente dos genótipos Superdoce, KWX 1009 e BR 106, mas não diferiram dos demais genótipos testados (Figura 2).

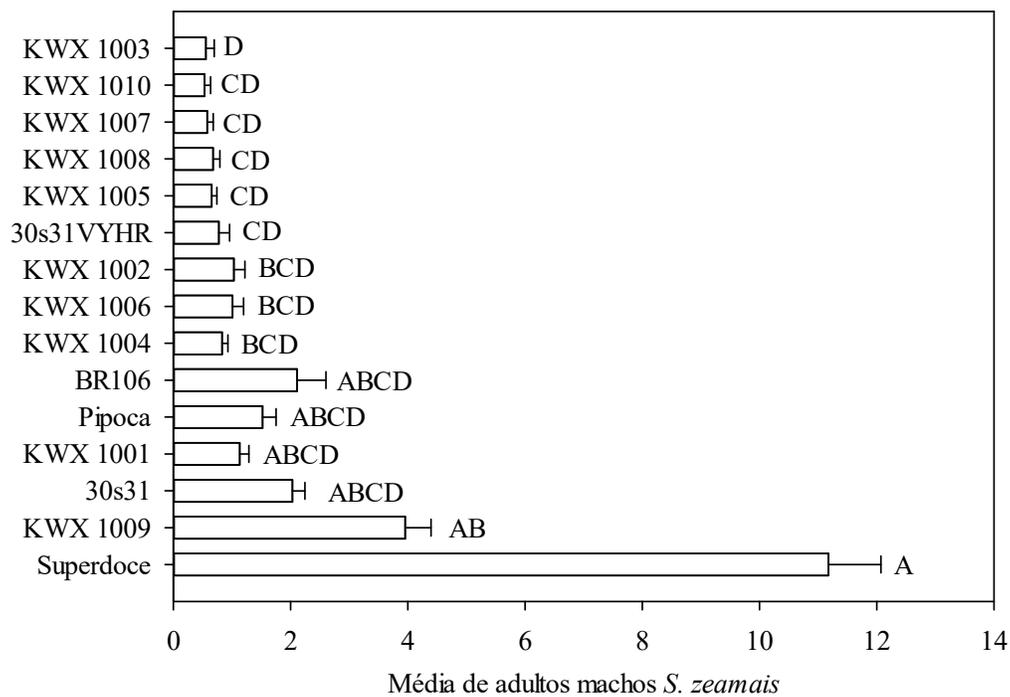


Figura 1. Média do número de machos adultos de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) \pm EPM (10 avaliações e 3 bioensaios) em 15 genótipos de milho (*Zea mays* Poaceae) em testes com chance de escolha. Dados seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey HSD a $P > 0,05$ (comparações par a par).

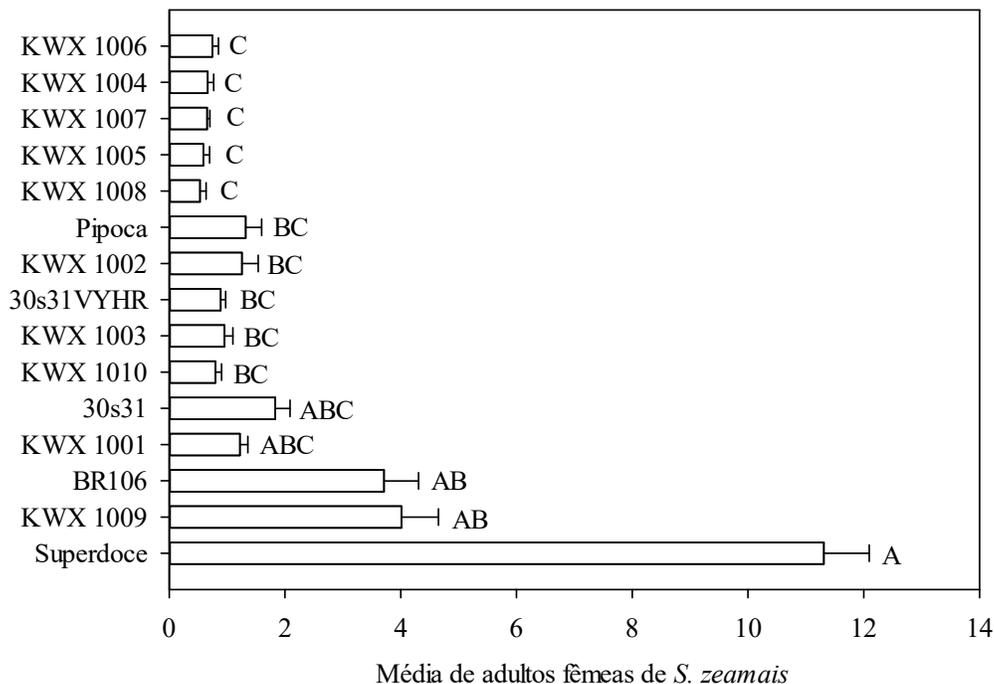


Figura 2. Média do número de fêmeas adultas de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) \pm EPM (10 avaliações e 3 bioensaios) em 15 genótipos de milho (*Zea mays* Poaceae) em testes com chance de escolha. Dados seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey HSD a $P > 0,05$ (comparações par a par).

Nos testes realizados no olfâmetro, não foram verificadas diferenças significativas entre os grãos ozonizados e não ozonizados para as variáveis total de entradas e tempo para a 1ª. escolha, em nenhum dos genótipos testados, o mesmo ocorrendo com o tempo de residência no milho Pipoca (Tabela 1). Entretanto, o tempo de residência nos grãos não ozonizados foi estatisticamente superior ao tempo gasto nos grãos ozonizados nos genótipos Superdoce e BR 106 (Tabela 1).

Tabela 1. Médias (I.C. a 95% de probabilidade) do total de entradas, tempo total (soma dos tempos parciais de entrada em cada braço), tempo de latência para primeira escolha e tempo médio de residência (tempo total gasto em um dado braço dividido pelo número de vezes que os insetos adentraram o braço) de fêmeas de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) expostas a diferentes tratamentos (possibilidades de escolha) em diferentes genótipos de milho dispostos em um olfatômetro em X (quatro escolhas).

Genótipos	Tratamentos		Estatística χ^2 (Valor de P), GL = 3
	Branco	Ozônio	
Superdoce	Total de entradas (número)		
	1,08 (0,8-1,4)	0,89 (0,7-1,1)	0,0092 ^{0,9236}
	Tempo para a 1ª escolha (seg)		
	13,18 (8,4-17,9)	9,75 (7,4-12,0)	0,258 ^{0,6115}
	Tempo de residência (seg)		
	323,0 a (161,6-484,3)	129,08 b (78,5-179,6)	43,60 ^{<0,0001}
BR106	Total de entradas (número)		
	1,52 (1,3-1,7)	1,13 (1,0-1,3)	0,0288 ^{0,8652}
	Tempo para a 1ª escolha (seg)		
	9,57 (6,8-12,3)	11,80 (8,9-14,6)	0,1167 ^{0,7326}
	Tempo de residência (seg)		
	245,94 a (162,0-329,9)	141,67 b (100,4-182,9)	14,28 ^{0,0002}
Pipoca	Total de entradas (número)		
	1,47 (1,1-1,8)	0,87 (0,7-1,0)	0,0782 ^{0,7797}
	Tempo para a 1ª escolha (seg)		
	11,08 (7,6-14,5)	10,50 (7,8-13,2)	0,0019 ^{0,9654}
	Tempo de residência (seg)		
	228,42 (146,4-310,4)	182,31 (113,7-250,9)	2,60 ^{0,1071}

6. DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtidos, foi possível observar que houve diferenças significativas na preferência dos genótipos nos testes com chance de escolha. O genótipo Superdoce foi o preferido, tanto pelas fêmeas quanto pelos machos. Vale destacar que os genótipos KWX 1009 e BR 106 não diferiram do genótipo mais preferido por machos e fêmeas, apesar de também não terem diferido dos genótipos menos preferidos no caso dos machos, mas terem diferido dos genótipos menos preferidos no caso das fêmeas. O milho Pipoca, por sua vez, não diferiu dos genótipos menos preferidos pelas fêmeas de *S. zeamais* e não diferiu tanto dos genótipos mais preferidos quanto dos menos preferidos no caso dos machos de *S. zeamais*. Por essa razão, os genótipos Superdoce, BRS 106 e Pipoca foram selecionados para uso nos ensaios no olfatômetro, representando um genótipo altamente suscetível, intermediariamente suscetível e resistente.

As diferenças na preferência exibida pelos gorgulhos entre os diferentes genótipos, pode ser justificada pela presença de uma característica da planta que afete adversamente ou positivamente o comportamento do artrópode (STOUT, 2013). Sabe-se que a preferência ou não preferência para alimentação e oviposição desses insetos está associada a diferentes fatores físicos, químicos e morfológicos que podem atuar de forma conjunta, ou isoladamente (LARA, 1991; TOSCANO et al. 1999). Segundo García-Lara et al. (2004), os teores de açúcares do milho apresentam uma correlação com os parâmetros de suscetibilidade e isso pode justificar a preferência do gorgulho pelo milho Superdoce, dado que esse genótipo apresenta altos teores de açúcares totais no endosperma e um pericarpo fino que facilita o acesso do inseto ao tecido de reserva (PARENTONI et al., 1990). No caso dos demais genótipos que também foram preferidos, outros fatores podem governar essa preferência incluindo emissão de voláteis atrativos (CAO et al., 2023), estimulantes alimentares (CHIPPENDALE, 1972), voláteis atuantes a curtas e longas distâncias em função da contaminação ou não dos grãos com *A. flavus* (PONCE et al., 2022), dentre outros fatores. Alguns desses fatores podem incluir a resistência do pericarpo, a natureza física e/ou química da película do grão, a presença de compostos tóxicos ao desenvolvimento do inseto e compostos repelentes (ARNASON et al., 1992; PANIZZI; PARRA, 2009). Ademais, outra característica que pode afetar a preferência do *S.zeamais* é a dureza do grão (TIPPING et al., 1988; LARA, 1991). Sabe-se que essa característica é afetada pelo tamanho dos grãos e, desta forma, grãos ou sementes de tamanho menores são mais duros e compactos, devido aos baixos teores de

umidade sendo, portanto, mais resistentes ao ataque de *S. zeamais* (KEBA; SORI, 2013; TONGJURA; AMUGA; MAFUYAI, 2010).

Em relação às diferenças observadas e relativas à preferência das fêmeas e machos nos testes com chance de escolha, elas podem ser justificadas pelo fato dos machos produzirem o feromônio de agregação (4S, 5R)-5-hidroxi-4-metil-heptan-3-ona, conhecido como sitofinona (WALGENBACH; BURKHOLDER, 1986; MOREIRA; ZARBIN; CORACINI, 2005), que é atrativo tanto para fêmeas quanto para machos, gerando assim resultados diferentes em relação a preferência do inseto, visto que essa será afetada pelo feromônio nos testes realizados com machos (FAVERO et al., 1993).

Os resultados dos testes comportamentais realizados no olfatômetro, permitiram inferir que a magnitude dos efeitos observados em relação ao tempo de residência nos genótipos foi diferente, apesar do resultado estatístico ter sido semelhante no caso de dois dos genótipos testados. Nessas análises observou-se que apesar do tempo de residência das fêmeas de *S. zeamais* ter sido cerca de três vezes maior pelos grãos não ozonizados em comparação aos grãos ozonizados do genótipo Superdoce, ele foi apenas $\approx 1,7x$ menor no genótipo BR 106 e não foi alterado no milho Pipoca. Portanto, o efeito de repelência proporcionado gás ozônio nos genótipos de milho testados, foi alterado em função da maior suscetibilidade ou resistência genética do genótipo testado, sendo de maior magnitude no genótipo mais suscetível, intermediário no genótipo que apresentava resistência intermediária e não se manifestando no genótipo mais resistente. Sabe-se que a repelência está relacionada à percepção sensorial do inseto a um composto químico, dessa forma, caso um composto químico desencadeie uma combinação de respostas comportamentais gerando um movimento orientado para longe da fonte de emissão desse composto, esse é reconhecido como repelente (DAVIS, 1985). Desta forma, a ação de repelência promovida pelo ozônio pode atuar mascarando os voláteis que condicionam a suscetibilidade de um dado genótipo a *S. zeamais* conferindo proteção a esse mesmo genótipo. No caso de genótipos que já se comportem como resistentes, a ação auferida pelo efeito de repelência sendo de menor magnitude, pode fazer com que os grãos não tratados se comportem de maneira semelhante aos grãos tratados. Esses resultados se assemelham parcialmente aos obtidos por Guzzo et al. (2023) que avaliaram um inseticida botânico a base de óleo de neem utilizado em associação com um genótipo resistente e suscetível à *Zabrotes subfasciatus*. Nesse estudo foi constatado que a associação do inseticida botânico NeemPro® com o genótipo suscetível e resistente à *Z. subfasciatus*

gerou uma ação de repelência, que afetou a viabilidade dos ovos de *Z. subfasciatus*, a porcentagem de adultos emergidos em relação ao total de ovos e a duração do período de ovo-adulto de machos e fêmeas, em ambas as associações (GUZZO et al., 2023). Desta forma, em ambos os casos, dos genótipos suscetível e resistente, obteve-se resultados positivos da associação de mais de um método de controle, compatível com a visão empregada no Manejo Integrado de Pragas.

Por fim, destaca-se que os resultados obtidos nos testes com o olfatômetro justificam a utilização do gás ozônio que se mostrou como uma alternativa eficiente para integração com a resistência hospedeira, conferindo ação de repelência justamente nos genótipos mais suscetíveis. Adicionalmente, sua agregação ao manejo integrado de *S. zeamais* pode contribuir para redução nos casos de resistência de populações de *S. zeamais* (GUEDES et al., 1995; PIMENTEL et al., 2008), já que não existem informações de populações desse inseto resistentes ao ozônio, apesar de existirem relatos da alteração na velocidade de caminhamento de *S. zeamais* exposto ao gás ozônio (TURCHEN et al., 2018). Esse comportamento não foi avaliado nesse estudo, contudo deve ser incluído como uma das variáveis a serem mensuradas em trabalhos futuros, a fim de auxiliar na mensuração do efeito de repelência associado ao gás. Em síntese, tendo em vista o programa de manejo de *S. zeamais* em grãos de milho armazenados, a adoção de métodos de controle alternativos, incluindo a resistência hospedeira e a ação de repelência do gás ozônio, pode representar uma possibilidade eficiente e alternativa à dependência por inseticidas fumigantes e protetores.

7. CONCLUSÕES

- ✓ Os genótipos de milho que se comportaram como os mais resistentes em testes com chances de escolha com machos de *S. zeamais* foram o KWX 1003, 1005, 1007, 1008, 1010 e 30s31VYHR apesar de não terem diferido estatisticamente de outros genótipos que também não diferiram dos genótipos mais suscetíveis;
- ✓ Os genótipos de milho que se comportaram como os mais resistentes em testes com chances de escolha com as fêmeas de *S. zeamais* foram KWX 1004, 1005, 1006, 1007 e 1008 apesar de não terem diferido estatisticamente de outros genótipos que também não diferiram dos genótipos mais suscetíveis;
- ✓ Os genótipos de milho que se comportaram como os mais suscetíveis em testes com chances de escolha com os machos de *S. zeamais* foram Superdoce e KWX

1009, que entretanto não diferiram estatisticamente de outros genótipos que também não diferiram dos genótipos mais resistentes;

- ✓ Os genótipos de milho que se comportaram como os mais suscetíveis em testes com chances de escolha com as fêmeas de *S. zeamais* foram Superdoce e KWX 1009, e BR 106 que entretanto não diferiram estatisticamente de outros genótipos que também não diferiram dos genótipos mais resistentes;
- ✓ Os genótipos Superdoce e BR 106, considerados os mais suscetíveis, foram os que mais se beneficiaram da ação de repelência promovida pelo gás ozônio.

8. REFERÊNCIAS

ABIMILHO. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MILHO. Estatísticas. Disponível em: < <http://www.abimilho.com.br/estatisticas>>. Acesso em: 24 abr. 2023

ANDERSON, K. et al. An economic analysis of producers' decisions regarding insect control in stored grain. **Applied Economic Perspectives and Policy**, v. 12, n. 1, p. 23-29, 1990.

ARNASON, J. T. et al. Role of phenolics in resistance of maize grain to the stored grain insects, *Prostephanus truncatus* (Horn) and *Sitophilus zeamais* (Motsch.). **Journal of Stored Products Research**, v. 28, n. 2, p. 119-126, 1992.

BERGVINSON, D.; GARCÍA-LARA, S. Genetic approaches to reducing losses of stored grain to insects and diseases. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 7, n. 4, p. 480-485, 2004.

BETI, J. A.; PHILLIPS, T. W.; SMALLEY, E. B. Effects of maize weevils (Coleoptera: Curculionidae) on production of aflatoxin B1 by *Aspergillus flavus* in stored corn. **Journal of Economic Entomology**, v. 88, n. 6, p. 1776-1782, 1995.

BOOTH, R. G. et al. IIE guides to insects of importance to man. 3. Coleoptera. **CAB International**, 1990.

BOUTARD, A. Beautiful Corn: America's Original Grain from Seed to Plate. **New Society Publishers**, 2012.

BRASIL. Companhia nacional de abastecimento (CONAB). **Séries históricas**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/910-Milho>>. Acesso em: 18 de abril de 2023a.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Safra 2022/23**. v.10, n.7 - Sétimo levantamento, p. 1-106, 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 18 de abril de 2023b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Agrofit: sistema de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 24 de abril de 2023c.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Situação da Armazenagem no Brasil**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-tematicas/infraestrutura-e-logistica/2021/77ro/ctlog-gt-armazenagem-abril-2021-versao06abril2021.pdf>>. Acesso em: 24 de abril de 2023d.

CABI. *Sitophilus zeamais* (greater grain weevil). CABI Compendium. CABI International, 2022. Disponível em: <<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.10926>>. Acesso em: 24 de julho de 2023

CAMPOS, T. B. Pragas dos grãos armazenados. **Reunião Itinerante de Fitossanidade do Instituto Biológico**, p. 24-25, 2005.

CANEPPELE, M. A. B. et al. Correlation between the infestation level of *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera, Curculionidae) and the quality factors of stored corn, *Zea mays* L. (Poaceae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 47, p. 625-630, 2003.

CAO, Y. et al. Attraction of *Sitophilus oryzae* (L.)(Coleoptera: Curculionidae) to the semiochemical volatiles of stored rice materials. **Journal of Pest Science**, p. 1-13, 2023.

CHIPPENDALE, G. M. Dietary carbohydrates: Role in survival of the adult rice weevil, *Sitophilus oryzae*. **Journal of Insect Physiology**, v. 18, n. 5, p. 949-957, 1972.

COUNCIL FOR AGRICULTURAL SCIENCE (CAST). Mycotoxins: risks in plant, animal, and human systems. **Council for Agricultural**, 2003.

DAVIS, E. E. Insect repellents: concepts of their mode of action relative to potential sensory mechanisms in mosquitoes (Diptera: Culicidae). **Journal of Medical Entomology**, v.22, p.237-243, 1985.

DEVI, S. R. et al. Biology, morphology and molecular characterization of *Sitophilus oryzae* and *S. zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 73, p. 135-141, 2017.

DIX, D. E. **Interactive bionomics of the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, and *Aspergillus flavus* Link.** Tese de Doutorado. University of Georgia. 1984.

FARONI, L. D. A. Manejo das pragas dos grãos armazenados e sua influência na qualidade do produto final. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 17, n. 1/2, p. 36-43, 1992.

FAVERO, S. et al. Resposta olfativa de *Sitophilus zeamais* Mostch (Coleoptera: Curculionidae) ao feromônio sintético de agregação sitofilure. **ANAIS-SOCIEDADE ENTOMOLOGICA DO BRASIL**, v. 22, p. 428-428, 1993.

FONTES, L. S.; ALMEIDA FILHO, A. J.; ARTHUR, V. Danos causados por *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) e *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) em cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 70, n. 3, p. 303-307, 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **FAOSTAT**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity>. Acesso em: 24 abr. 2023.

GARCÍA-LARA, S. et al. The role of pericarp cell wall components in maize weevil resistance. **Crop Science**, v. 44, n. 5, p. 1546-1552, 2004.

GIGA, D. P. et al. Assessment and control of losses caused by insect pests in small farmers' stores in Zimbabwe. **Crop Protection**, v. 10, n. 4, p. 287-292, 1991.

- GUEDES, R. N. C. Manejo integrado para a proteção de grãos armazenados contra insetos. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 15, n. 1/2, p. 3-47, 1991.
- GUEDES, R. N. C. et al. Resistance to DDT and pyrethroids in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* Motsch.(Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 31, n. 2, p. 145-150, 1995.
- GUZZO, E. C. et al. Combining host plant resistance and botanical insecticide for the management of *Zabrotes subfasciatus* (Boheman)(Coleoptera, Chrysomelidae, Bruchinae) in common bean. **Bragantia**, v. 82, p. e20220194, 2023.
- HAINES, C. P. Insects and arachnids of tropical stored products: their biology and identification (a training manual). Nri, 1991.
- HALLAUER, A. R.; DARRAH, L. L. Compendium of recurrent selection methods and their application. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 3, n. 1, p. 1-33, 1985.
- HILL, D. S. Agricultural insect pests of the tropics and their control. 746pp. 1983.
- KEBA, T.; SORI, W. Differential resistance of maize varieties to maize weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) under Laboratory conditions. **Journal of Entomology**, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2013.
- LARA, F. M. Princípios de resistência de plantas a insetos. 1991.
- LONGSTAFF, B. C. et al. Biology of the grain pest species of the genus *Sitophilus* (Coleoptera: Curculionidae): a critical review. **Protection Ecology**, v. 3, n. 2, p. 83-130, 1981.
- LÓPEZ-CASTILLO, L. M. et al. Postharvest insect resistance in maize. **Journal of Stored Products Research**, v. 77, p. 66-76, 2018
- LORINI, I.; SCHNEIDER, S. Pragas de grãos armazenados: resultados de pesquisa. 1994.
- LORINI, I. et al. Detection and characterisation of strong resistance to phosphine in Brazilian *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae). **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 63, n. 4, p. 358-364, 2007.
- LORINI, I. et al. Principais pragas e métodos de controle em sementes durante o armazenamento. **Informativo Abrates**, v. 19, n. 1, 2010.

- LORINI, I. et al. Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas. CEP, v. 86001, p. 970, 2015.
- MARKHAM, R. et al. Developing pest management strategies for *Sitophilus zeamais* and *Prostephanus truncatus* in the tropics. 1995.
- MENDEZ, F. et al. Penetration of ozone into columns of stored grains and effects on chemical composition and processing performance. **Journal of Stored Products Research**, v. 39, n. 1, p. 33-44, 2003.
- MLYNEKOVÁ, Z.; ČEREŠŇÁKOVÁ, Z. Degradation of starch and crude protein in dent and dent x flint maize hybrids in different stages of maturity. **Slovak Journal of Animal Science**, v. 46, n. 2, p. 61-67, 2013.
- MOREIRA, M. A. B.; ZARBIN, P. H. G.; CORACINI, M. D. A. Feromônios associados aos coleópteros-praga de produtos armazenados. **Química nova**, v. 28, p. 472-477, 2005.
- MOREIRA, G. R. et al. Herança de caracteres de resistência por antixenose de *Solanum pennellii* à traça-do-tomateiro em cruzamento com 'Santa Clara'. **Horticultura Brasileira**, v. 31, p. 574-581, 2013.
- MOSS. Recent studies of mycotoxins. **Journal of Applied Microbiology**, v. 84, n. S1, p. 62S-76S, 1998.
- MOUND, L. A. Common insect pests of stored food products. **British Museum (Natural History)**, 1989.
- NAYAK, M. K. et al. Resistance to the fumigant phosphine and its management in insect pests of stored products: a global perspective. **Annual Review of Entomology**, v. 65, p. 333-350, 2020.
- NWOSU, L. C.; ADEDIRE, C. O.; OGUNWOLU, E. O. 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.
- 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.

- OLESZCZUK, J. D. et al. Characterization of components of resistance to Corn Stunt disease. **Plos one**, v. 15, n. 10, p. e0234454, 2020.
- PAES, M. C. D. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. 2006.
- PANIZZI, A. R.; PARRA, J. R. P. A bioecologia e a nutrição de insetos como base para o manejo integrado de pragas. 2009.
- PATIÑO-BAYONA, W. R. et al. Effects of essential oils from 24 plant species on *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera, Curculionidae). **Insects**, v. 12, n. 6, p. 532, 2021.
- PARENTONI, S. N. et al. Milho doce. 1990.
- PÉRA, T. G.; BARTHOLOMEU, D. B. Implicações das perdas para a agrologística de soja e milho. **AgroANALYSIS**, v. 42, n. 11, p. 24-25, 2022.
- PEREIRA, C. J. et al. Organophosphate resistance in the maize weevil *Sitophilus zeamais*: magnitude and behavior. **Crop protection**, v. 28, n. 2, p. 168-173, 2009.
- PIMENTEL, M. A. G. et al. Phosphine resistance, respiration rate and fitness consequences in stored-product insects. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 63, n. 9, p. 876-881, 2007.
- PIMENTEL, M. A. G. et al. Resistance of stored-product insects to phosphine. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1671-1676, 2008.
- PONCE, M. A. et al. Grain inoculated with different growth stages of the fungus, *Aspergillus flavus*, affect the close-range foraging behavior by a primary stored product pest, *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). **Environmental Entomology**, v. 51, n. 5, p. 927-939, 2022.
- POSSAMAI, J. P.; PESCADOR, A.; MAYERLE, S. F. Equilíbrio espacial de preços com estoque regulador. **Production**, v. 24, p. 861-871, 2014.
- REIS, J. G. M. et al. Avaliação das estratégias de comercialização do milho em MS Aplicando o Analytic Hierarchy Process (AHP). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, p. 131-146, 2016.
- ROZADO, A. F. et al. Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em milho armazenado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 282-285, 2008.

- SANTIAGO, R.; MALVAR, R. A. Role of dehydrodiferulates in maize resistance to pests and diseases. **International journal of molecular sciences**, v. 11, n. 2, p. 691-703, 2010.
- SANTOS, J. P.; MANTOVANI, E. C. Perdas de grãos na cultura do milho: pré-colheita, colheita, transporte e armazenamento. 1997.
- SANTOS, N. R. et al. Efeitos de extratos vegetais com relação à mortalidade do caruncho (*Sitophilus zeamais* L.) e a qualidade fisiológica de sementes de milho armazenadas. 2003.
- SANTOS, J. C. et al. Toxicidade de inseticidas piretróides e organofosforados para populações brasileiras de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). 2009.
- SILVA, M. V. A. et al. 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, 2022.
- STOUT, M. J. Reevaluating the conceptual framework for applied research on host-plant resistance. **Insect Science**, v. 20, n. 3, p. 263-272, 2013.
- SUINAGA, F. A. et al. Resistência por antibiose de *Lycopersicon peruvianum* à traça do tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v. 22, p. 281-285, 2004.
- SULEIMAN, R. et al. Is flint corn naturally resistant to *Sitophilus zeamais* infestation?. **Journal of Stored Products Research**, v. 60, p. 19-24, 2015.
- TIPPING, P. W. et al. Feeding activity of the maize weevil (Coleoptera: Curculionidae) on two dent corn lines and some of their mutants. **Journal of economic entomology**, v. 81, n. 3, p. 830-833, 1988.
- TIWARI, B. K. et al. Application of ozone in grain processing. **Journal of Cereal Science**, v.51, p.248–255, 2010.
- TONGJURA, J. D. C.; AMUGA, G. A.; MAFUYAI, H. B. Laboratory assessment of the susceptibility of some varieties of *Zea mays* infested with *Sitophilus zeamais*, Motsch. (Coleoptera, Curculionidae) in Jos, Plateau State, Nigeria. **Science World Journal**, v. 5, n. 2, 2010.

TOSCANO, L. C. et al. 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, p. 141-146, 1999.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Grain: World Markets and Trade**. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 13 julho de 2023.

VET, L.E. et al. An airflow olfactometer for measuring olfactory responses of hymenopterous parasitoids and other small insects. **Physiological Entomology**, v. 8, n. 1, p. 97-106, 1983.

WALGENBACH, C. A.; BURKHOLDER, W. E. Factors affecting the response of the maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae), to its aggregation pheromone. **Environmental Entomology**, v. 15, n. 3, p. 733-738, 1986.

WARCHALEWSKI, J. R. et al. The effect of wheat α -amylase inhibitors incorporated into wheat-based artificial diets on development of *Sitophilus granarius* L., *Tribolium confusum* Duv., and *Ephestia kuehniella* Zell. **Journal of Applied Entomology**, v. 126, n. 4, p. 161-168, 2002.