



**Centro Universitário UNA de Bom Despacho
Bacharelado em Agronomia**

**Gabriel Henrique Eugênio Faria
Vinicius Camargos Costa**

MILHO TRANSGÊNICO RESISTENTE A INSETOS E TOLERANTE À HERBICIDAS

**Bom Despacho/MG
2023**

**Gabriel Henrique Eugênio Faria
Vinicius Camargos Costa**

**MILHO TRANSGÊNICO RESISTENTE A INSETOS E
TOLERANTE À HERBICIDAS**

Artigo científico apresentado no curso de graduação em Agronomia do Centro universitário UNA de Bom Despacho, como um dos pré-requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia

Orientador: Prof. MSc. Carlos Allan Pereira dos Santos

Bom Despacho/MG
2023

**Gabriel Henrique Eugênio Faria
Vinicius Camargos Costa**

**MILHO TRANSGÊNICO RESISTENTE A INSETOS E TOLERANTE À
HERBICIDAS**

Artigo apresentado como exigência parcial
para obtenção do título de bacharel em
Agronomia à Comissão Julgadora designada
pela Coordenação de Trabalhos de Conclusão
de curso do Centro universitário UNA de Bom
Despacho.

Bom Despacho, 22 de junho de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Gesiane Ribeiro Guimaraes
Una

Prof^a. Dr^a. Mariana Aguiar Silva
Una

Milho transgênico resistente a insetos e tolerante a herbicidas

RESUMO

Avanços biotecnológicos na cultura do milho, com destaque para o desenvolvimento do milho transgênico, contribuíram significativamente para redução do ataque de insetos-praga, bem como para maior eficiência no manejo de plantas daninhas nas áreas produtivas desse cereal no mundo. Diante disso, objetivamos realizar uma revisão acerca do uso milho transgênico, bem como das vantagens e limitações relacionadas à essa tecnologia. O estudo consistiu em uma revisão de literatura qualitativa a partir de artigos científicos publicados a partir de janeiro de 2013, disponibilizados nas bases de dados Scielo, Web of Science, PubMed e no portal de Periódicos da Capes. Constatou-se que houve um aumento expressivo no uso de milho transgênico no Brasil e no mundo a partir do desenvolvimento do primeiro evento transgênico. Além disso, grande parte do milho plantado apresenta introdução de um ou mais genes de *Bacillus thuringiensis*, os quais conferem resistência a insetos-praga importantes na cultura, sobretudo lagartas. O desenvolvimento de milho transgênico tolerante ao herbicida glifosato também favoreceu o aumento de produtividade desse cereal. Ademais, o uso da transgenia nessa cultura possibilitou o uso mais racional de produtos fitossanitários, mas cuidados são necessários quanto ao estabelecimento de áreas de refúgio e ao manejo da resistência aos herbicidas.

Palavras-chave: *Bacillus thuringiensis*, biotecnologia, lagartas do milho, proteínas Cry. *Zea mays* L.

1. Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura agrícola de grande relevância socioeconômica no mundo. No Brasil, a produção desse cereal é destaque no agronegócio como uma das principais atividades agrícolas, além de fomentar o desenvolvimento da pecuária e contribuir para a agroindústria (MACIEL; TUNES, 2021; CONTINI *et al.*, 2019).

O cultivo de milho destina-se, principalmente, a alimentação animal e humana, sendo esse cereal considerado relevante na garantia de segurança alimentar (MIRANDA, 2018). Além disso, em função da sua grande versatilidade, o milho pode ser empregado na fabricação de bebidas, biocombustível e polímeros diversos (MIRANDA, 2018).

O cultivo desse cereal no país ocorre a partir de três safras. Na safra 2022/23, estima-se que sejam produzidas 125,54 milhões de toneladas de milho, em uma área total de 21,98 milhões de hectares. A produtividade média nacional deve atingir 5,71 toneladas por hectare nesse período (CONAB, 2023).

É relevante destacar que houve um aumento constante na produção desse cereal ao longo do tempo como resultado do desenvolvimento de práticas agronômicas e investimento em biotecnologia (CABRERA-PONCE *et al.*, 2019). Esse esforço culminou na disponibilização de cultivares altamente produtivas e resistentes aos estresses bióticos e abióticos que podem comprometer a produção de milho. (CABRERA-PONCE *et al.*, 2019).

O primeiro milho transgênico aprovado para comercialização no Brasil advém da inserção de um gene de *Bacillus thuringiensis*, e tornou-se uma tecnologia muito empregada para controle de lagartas na cultura, mais precisamente a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*). Desde então, ao longo do tempo, verificou-se crescimento expressivo no plantio de milho transgênico no Brasil (EMBRAPA, 2022; CONTINI *et al.*, 2019).

Na safra 2008/09, apenas 6% do milho disponível para semeadura no país era proveniente de transgênia. Na safra 2017/18, cerca de uma década depois, aproximadamente 65% das cultivares de milho disponíveis no mercado brasileiro continham eventos transgênicos (CONTINI *et al.*, 2019). Na atualidade, além de milho transgênico para resistência ao ataque de praga, avanços biotecnológicos resultaram no desenvolvimento de materiais genéticos resistentes à aplicação de herbicidas, o que impulsionou ainda mais a produção comercial desse cereal (BANDEIRA, 2021).

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo geral realizar uma revisão acerca do uso milho transgênico, bem como das vantagens e limitações relacionadas à essa tecnologia.

2. Referencial Teórico

2.1. A Cultura do Milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta da família botânica Poaceae cuja origem tem sido atribuída ao continente americano, mais precisamente no México (SOUZA, 2017).

Quanto à produção mundial, em 2021, os principais produtores mundiais de milho, em ordem decrescente de volume de produção, foram Estados Unidos, China, Brasil, Argentina e Ucrânia (FAO, 2023). No Brasil, o milho é um cereal de grande relevância na produção agropecuária brasileira ao contribuir para geração de

receitas e para o desenvolvimento socioeconômico (AMARAL *et al.*, 2017; COELHO *et al.*, 2013).

Nesse contexto, destaca-se que o milho é uma cultura agrícola cujo cultivo tem apresentado crescimento significativo no Brasil ao longo do tempo (SILVA *et al.*, 2020). O milho é considerado a segunda cultura de interesse agrícola mais cultivada no Brasil, sendo superado apenas pela soja (QUEIROZ, 2019).

A cadeia produtiva desse cereal no país tem como foco principal atender a demanda interna, com destaque para fabricação de rações e processamento industrial de alimentos para consumo humano. E, embora o excedente seja exportado, o Brasil não é um país tradicionalmente exportador de grãos de milho (SOUZA *et al.*, 2018; REIS *et al.*, 2016).

Na produção de ração animal e silagem, o milho é o principal ingrediente, o que resulta na alta demanda desse cereal no mercado interno visando a alimentação de suínos, aves e bovinos. Em função da grande utilização do milho na alimentação de rebanhos, a disponibilidade e preço desse produto influencia o valor das proteínas animais e do leite, bem como de seus derivados (SOUZA *et al.*, 2018; TIBULO; CARLI, 2014).

O cultivo desse cereal no Brasil ocorre em duas safras, sendo que a 1ª safra compreende o plantio entre agosto e dezembro e a colheita entre os meses de março a junho, enquanto que a 2ª safra caracteriza-se pelo plantio entre janeiro e março com a colheita sendo realizada entre junho e setembro. Quando se considera a produção total anual no país, verifica-se que 40% da produção é realizada na 1ª safra e a 2ª safra corresponde à produção de 60% do volume total colhido no país (CONAB). Além disso, destaca-se que o milho de 2ª safra é produzido, sobretudo, na região Centro-Oeste brasileira (SOUZA *et al.*, 2018).

E, de acordo com dados divulgados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), para safra 2022/23, a produção brasileira de milho deve resultar em cerca de 125 milhões de toneladas, o que deve ser obtido a partir de 21,98 milhões de hectares cultivadas com esse cereal. A produtividade média no país é projetada em 5,71 toneladas por hectare (CONAB, 2023).

Um aspecto importante é que a obtenção de produtividades elevadas de milho no Brasil possui relação direta com o emprego de novas tecnologias, as quais contribuem para maior profissionalização do setor, e com as novas técnicas de cultivo, como o plantio mais adensado devido ao menor espaçamento de plantio.

Dentre essas tecnologias, destacam-se cultivares de milho híbrido simples e triplo com elevado potencial genético, uso de sementes de alta qualidade, correção adequada do solo, manejo fitossanitário de doenças a partir de defensivos químicos, e o uso de cultivares transgênicas (EMBRAPA, 2022).

2.2. Transgenia na Agricultura

De acordo com Silva *et al.* (2020), o cultivo sob condições que possibilitem o pleno desenvolvimento da cultura do milho nem sempre é possível. Isso porque o cultivo em diferentes áreas e épocas favorece a ocorrência de infecções por fitopatógenos e o ataque de insetos-praga nessa cultura. Dentre as pragas que se alimentam da cultura, destacam-se as espécies *Elasmopalpus lignosellus* (Lepidoptera: Pyralidae) (lagarta elasmó), *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) (lagarta da espiga), *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) (lagarta do cartucho), *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) (broca-da-cana) e *Diabrotica speciosa* (Coleoptera: Chrysomelidae) (larva alfinete) (FORESTI *et al.*, 2018).

Com intuito de melhorar o manejo de insetos-praga e plantas daninhas, o que contribui para menores perdas de produtividade devido à problemas fitossanitários, cultivares de milho apresentando eventos transgênicos foram desenvolvidas. Esses materiais genéticos, disponibilizados no mercado, confere resistência genética ao ataque de insetos e aos herbicidas não seletivos na cultura (RAMOS, 2018).

Na atualidade, uma das mais importantes ferramentas no manejo de pragas agrícolas é a engenharia genética de plantas a partir da biotecnologia aplicada à agricultura (VENUGOPAL; DILY, 2017). Um dos grandes avanços oriundos dessa ferramenta foi o desenvolvimento de culturas modificadas a partir da inserção de genes da bactéria *Bacillus thuringiensis*, o que resulta na capacidade vegetal de expressar toxinas inseticidas (VENUGOPAL; DILY, 2017).

A primeira planta transgênica foi desenvolvida em 1992, na China, e consistiu em uma planta de tabaco resistente à vírus. Posteriormente, desenvolveu-se o tomate transgênico, o qual teve seu cultivo comercial aprovado em 1994 nos Estados Unidos. Desde então, diversas culturas modificadas geneticamente foram desenvolvidas, o que envolve grandes culturas como milho, soja e algodão, espécies

frutíferas como maçã, mamão, abacaxi e ameixa, além de hortaliças (beringela, beterraba, batata, etc.) e espécies de interesse florestal como o eucalipto (MALL *et al.*, 2018).

Dentre os fatores que contribuíram para incrementos na área cultivada com esses materiais genéticos, destacam-se a maior aceitabilidade da tecnologia por parte dos agricultores e também por parte do mercado consumidor, o tamanho potencial de mercado para as culturas transgênicas e a descoberta de genes capazes de permitir a expressão de características desejáveis (MALL *et al.*, 2018).

2.3. O Milho Transgênico

Ao longo do tempo, a transgenia foi muito estudada e, posteriormente, aplicada visando o desenvolvimento do milho transgênico visando melhorar aspectos agronômicos do milho (ALVES *et al.*, 2015). O primeiro evento transgênico aprovado para comercialização no Brasil foi o milho expressando a proteína Cry 1AB de *Bacillus thuringiensis* (Bt), o que ocorreu no ano de 2007. A expressão dessa proteína no milho confere resistência à lagarta do cartucho *Spodoptera frugiperda*, praga importante na cultura. Posteriormente, em 2008, aprovou-se o plantio de cultivares de milho transgênico apresentando o gene que codifica a proteína inseticida Cry 1 F (MICHELOTTO *et al.*, 2017).

Segundo Michelotto *et al.* (2017), ao longo do tempo, novos eventos transgênicos visando resistência à insetos foram aprovados, sendo que, atualmente, há produtos apresentando uma proteína inseticida ou mais para controle de artrópodes da ordem Lepidoptera (MICHELOTTO *et al.*, 2017). Em 2010, por exemplo, houve aprovação da tecnologia VT PRO2, a qual consiste em híbridos que combinam as tecnologias YieldGard®VT PRO e Roundup Ready® e são, portanto, tolerantes às três principais lagartas (broca-do-colmo, lagarta-da-espiga e lagarta-do-cartucho) que atacam o milho e à molécula herbicida glifosato. Além de apresentar resistência às pragas, essa tecnologia apresenta resistência à seca e boa produtividade em campo (SOUZA *et al.*, 2015).

O milho transgênico resistente à insetos-praga e tolerante às moléculas herbicidas foi rapidamente adotado nas áreas de cultivo no mundo (LIU *et al.*, 2018). Nos Estados Unidos, por exemplo, cerca de 80% da área cultivada de milho corresponde ao milho Bt (BANERJEE *et al.*, 2017).

Dentre as vantagens das plantas transgênicas expressando genes de *B. thuringiensis* destacam-se as menores perdas de rendimento devido a redução da população de insetos-praga e minimização do uso de inseticidas químicas com consequente aumento da rentabilidade nessa atividade agrícola e o menor impacto ambiental devido ao uso irracional de pesticidas químicos (VENUGOPAL; DILY, 2017). Outra vantagem do uso de plantas expressando genes *Bt* é o reduzido risco das toxinas produzidas na planta à organismos não-alvo (LIU *et al.*, 2018).

Diante disso, cultivares de milho *Bt*, geralmente, apresentam produtividade superior aos seus respectivos híbridos convencionais quando não é realizada a aplicação de inseticidas na lavoura (MICHELOTTO *et al.*, 2013). Contudo, é importante destacar que essa tecnologia não eleva a produtividade e sim atua protegendo as plantas do ataque de insetos-praga que inviabilizam a máxima expressão do potencial produtivo da cultura (MICHELOTTO *et al.*, 2013).

3. Metodologia

O estudo consistirá em uma revisão de literatura de caráter qualitativo sobre o milho transgênico. De acordo com Pereira *et al.* (2018), estudos de caráter qualitativo são importantes para a maior divulgação de evidências científicas relacionadas ao objeto de estudo.

Na escolha dos artigos científicos a serem usados na presente revisão, serão adotados os seguintes critérios de inclusão: os artigos devem ser disponibilizados na modalidade online e de modo integral; a publicação deve ter ocorrido a partir de janeiro de 2013; os estudos devem ter sido publicados nos idiomas português e inglês; e os estudos devem estar indexados as bases de dados Scielo, Web of Science, PubMed, bem como ao portal de Periódicos da Capes.

Quanto aos critérios de exclusão, foram adotados os critérios: publicação com data superior a dez anos; temática central do estudo não relacionada a cultura do milho; artigos não são aplicados ao desenvolvimento, uso, vantagens e desvantagens de organismos transgênicos.

Durante a etapa de busca dos artigos científicos, serão adotados os descritores principais em língua portuguesa: “Milho”; “Transgênico”; “Milho geneticamente modificado”; “Milho *Bt*”. Os descritores correspondentes “Corn” ou “Maize”; “Transgenic”; “Genetically modified corn”; “*Bt* corn” serão usados na busca

de artigos em língua inglesa.

Após a seleção dos artigos, foi realizada a leitura analítica visando organizar e sumarizar as informações presentes em cada fonte selecionada. Nessa etapa de leitura analítica, foi realizada uma leitura rápida do material, seguida da leitura aprofundada, conforme Silva *et al* (2021). Em seguida, as informações obtidas serão registradas para atingir o objetivo proposto no presente estudo.

4. Resultados e Discussões

4.1. O milho *BT*

O primeiro milho transgênico comercial nos EUA, o qual apresentava gene da bactéria *B. thuringiensis* (*Bt*), foi aprovado pela primeira vez em 1996. O foco principal dessa tecnologia era conferir proteção do milho contra o ataque da broca europeia do milho, espécie *Ostrinia nubilalis* (Hübner) (Lepidoptera: Crambidae), bem como de outras pragas capazes de perfurar o caule das plantas (BILBO *et al.*, 2018).

Segundo o Serviço Internacional para a Aquisição de Aplicações Agro-Biotecnológicas (ISAAA), no período compreendido entre 1996 a 2018 houve aumento expressivo no uso de culturas agrícolas transgênicas expressando proteínas *Bt*, o que inclui o milho. Relata-se que nesse período, a área cultivada com transgênicos aumentou 113 vezes, resultando em cerca de 191,7 milhões de hectares cultivadas com plantas transgênicas no mundo. Dentre os países que adotaram essa tecnologia de forma ampla nos sistemas de produção de milho, destacam-se os Estados Unidos, Argentina, Brasil, África do Sul, Honduras, Canadá, Portugal, Chile, Uruguai, Espanha, República Tcheca, Egito, Romênia, Filipinas, Honduras e Eslováquia (ISAAA, 2018).

Segundo Carrière *et al.* (2015), os primeiros híbridos de milho transgênico apresentavam a inserção de uma única toxina inseticida, comumente Cry1Ab ou Cry1F, as quais possuíam ação contra pragas que atacavam estruturas vegetais acima do solo. Na atualidade, grande parte dos materiais genéticos disponíveis no mercado apresentam múltiplas toxinas combinadas, sendo que esse evento de inserção de múltiplas toxinas é referido como piramidação de genes (CARRIÈRE *et al.*, 2015).

Nesse contexto, Li *et al.* (2020) afirmam que, geralmente, plantas que possuem duas ou mais proteínas *Bt* distintas, com diferentes sítios de ligação, apresentam a capacidade de controlar uma gama ampla de insetos-praga comparado aos híbridos contendo apenas uma única toxina. Essa tecnologia também permite retardar o desenvolvimento de resistência ao *Bt* e, por esse motivo, tem sido cada vez mais usadas (LI *et al.*, 2020).

4.2. Proteínas CRY, CYT E VIP DE *B. thuringiensis*

B. thuringiensis (*Bt*) é uma bactéria descoberta no Japão, no ano de 1901. A descoberta dessa bactéria ocorreu em associação patogênica ao bicho-da-seda, organismo sensível às toxinas inseticidas produzidas por esse procarioto (YAMAMOTO *et al.*, 2022). As toxinas referidas são sintetizadas durante o processo de esporulação bacteriana e se cristalizam, sendo que nessa etapa, recebem o nome de toxinas Cry ou proteínas cristalinas (YAMAMOTO *et al.*, 2022).

Ballerini *et al.* (2017) complementa que cerca de 74 grupos de proteínas Cry são conhecidas atualmente, sendo essas identificadas por letras e número. Essas proteínas com ação inseticida possuem efeito sobre diversas ordens de artrópodes, tais como Lepidoptera, Diptera, Hymenoptera e Coleoptera. *B. thuringiensis* também sintetizam outras proteínas inseticidas, embora sejam menos frequentes que as proteínas Cry, sendo elas Cyt e Vip (BALLERINI *et al.*, 2017).

De acordo com Meissle e Romeis (2021), a maior parte das plantas transgênicas que apresentam propriedades inseticidas na agricultura moderna possuem a capacidade de codificar proteínas Cry de *B. thuringiensis*, o que concorda com Carrière *et al.* (2015). e acordo com os autores, as principais proteínas presentes nos híbridos transgênicos modernos são: Cry1F, Cry1A.105, Cry1Ab, Cry2Ab2 e Vip3Aa20.

No Brasil, as principais proteínas *Bt* presentes em milho transgênico e disponíveis no mercado são proteínas Cry e VIP, (quadro 1). Além disso, as cultivares disponíveis podem apresentar de uma a quatro proteínas *Bt* e têm sido usadas para resistência à lepidópteros, coleópteros e larvas de diabrótica na cultura do milho (MENDES *et al.*, 2018).

Quadro 1 - Proteínas *BT* no milho transgênico aprovado para comercialização no Brasil.

Número de proteínas <i>Bt</i>	Identificação das proteínas <i>Bt</i>
1	Cry1Ab
1	Cry1F
1	VIP3A
2	Cry1Ab/Cry1F
2	Cry1A.105/Cry2Ab2
3	Cry1Ab/Cry1F/VIP3A
3	Cry1A.105/Cry2Ab2/VIP3A
4	Cry1F/Cry1A.105/Cry2Ab2/VIP3A

Fonte: Modificado de Araújo (2022).

Quanto à atuação dessas toxinas nos insetos, sabe-se que as toxinas sintetizadas na esporulação e que adquirem estrutura cristalina, são liberadas durante a lise celular que ocorre no processo de fermentação. Nessa etapa, as proteínas podem ser coletadas e usadas na formulação de produtos inseticidas pulverizáveis, por exemplo (YAMAMOTO *et al.*, 2022).

Nas plantas, essas proteínas são ingeridas por insetos herbívoros. Quando sensíveis à ação da toxina, ocorre o processo de ativação proteolítica das proteínas após a ingestão pelo inseto. Posteriormente, ocorre a ligação da toxina aos receptores do intestino do inseto, o que resulta na formação de poros e no comprometimento do equilíbrio iônico (JURAT-FUENTES; CRICKMORE, 2017). Consequentemente, ocorre a morte do inseto. Cabe salientar que a ativação das proteínas depende de condições fisiológicas específicas no intestino, sobretudo associadas ao pH (JURAT-FUENTES; CRICKMORE, 2017). Além disso, cada proteína Cry requer receptores específicos para ligação no intestino do inseto, o que resulta em especificidade na interação entre proteínas e insetos-alvos (JURAT-FUENTES; CRICKMORE, 2017).

4.3. Milho resistente a herbicidas

Além do plantio de milho *Bt* visando o manejo de insetos-praga, sobretudo lagartas, na agricultura, investimentos resultaram no desenvolvimento de biotecnologias que resultam na tolerância vegetal à herbicida (ARAÚJO, 2022). A adoção de ambas tecnologias combinadas tornou-se realidade a partir de 2007 e apresentou adoção rápida nas áreas de cultivo de milho, bem como de algodão e soja, no Brasil, resultando em aumento da área destinada ao cultivo de plantas geneticamente modificadas no país (ARAÚJO, 2022).

O milho RR2 (Roundup Ready 2) apresenta tecnologia desenvolvida pela empresa Monsanto. Nesse material genético, houve a alteração do DNA vegetal para que as plantas se tornem tolerantes à aplicação do herbicida glifosato (REDDY, 2023).

Além disso, grande parte do milho transgênico resistente ao glifosato são resultados da piramidação de genes e, por esse motivo, apresentam tanto genes que conferem tolerância ao herbicida quanto genes que conferem resistência aos insetos praga (ALBRECHT *et al.*, 2014).

4.4. Vantagens e limitações do uso de milho transgênico

Dentre as principais vantagens do uso de milho transgênico *Bt*, destacam-se a maior proteção vegetal contra herbívoros, a redução dos custos com aquisição de inseticidas e herbicidas, o baixo impacto sobre organismos não-alvo, a supressão de determinados artrópodes-praga e, conseqüentemente, os ganhos de rendimento na atividade (BILBO *et al.*, 2018; CARRIÈRE *et al.*, 2016). Além disso, o milho *Bt* é inofensivo aos seres humanos, visto que há alta especificidade das toxinas em relação aos insetos-alvos, e não oferece risco de poluição ambiental, visto que as toxinas são biodegradáveis no ambiente (ARAÚJO, 2022).

O plantio do milho tolerante à herbicida possui como vantagens a elevada eficácia no controle de plantas daninhas e o menor custo relacionado à aquisição de herbicidas. Somado a isso, verifica-se ainda a redução na aplicação desses produtos fitossanitários nas áreas produtivas e o menor impacto ao meio ambiente devido ao uso mais racional de defensivos agrícolas na agricultura (ALBRECHT *et al.*, 2014).

Por outro lado, a ampla adoção dessa tecnologia associada à não adoção da estratégia de refúgio resulta na evolução rápida da resistência de insetos-praga, sobretudo quando o milho apresenta apenas uma única toxina *Bt* (CARRIÈRE *et al.*, 2016). Cultivares de milho apresentando as proteínas Cry1F e Cry1Ab, por exemplo, já são ineficazes para controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) na cultura do milho no Brasil (FARIAS *et al.*, 2014).

Diante disso, uma alternativa que tem sido usada é a piramidação de genes capazes de codificar para duas ou mais proteínas *Bt* diferentes, visto que essa estratégia retarda a seleção de biótipos resistentes na população de pragas (YANG

et al., 2017). Uma das desvantagens ou limitações relacionadas ao cultivo de milho resistente à herbicida são a ocorrência de plantas voluntárias de milho, também conhecidas como tigueras, resistentes aos herbicidas, o que dificulta o manejo dessas no cultivo subsequente. Além disso, o uso contínuo de um mesmo ingrediente ativo herbicida em uma cultura que é resistente aumenta a pressão de seleção de biotipos de plantas daninhas resistentes a molécula (KARAM *et al.*, 2013; HOLKEM *et al.*, 2022).

5. Conclusões

O desenvolvimento do milho transgênico promoveu transformações na agricultura, sobretudo no que diz respeito ao manejo de insetos-praga e plantas daninhas. As vantagens associadas ao uso de cultivares transgênicas resultou em expressivo crescimento da área cultivada com plantas de milho geneticamente modificado no Brasil e em diversos países. No entanto, o posicionamento dessas tecnologias depende de conhecimento técnico e científico e da adoção de boas práticas agrônômicas para maior durabilidade da resistência em campo, bem como para redução dos problemas associados à seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes e à ocorrência de milho resistente à herbicida como planta voluntária nos cultivos seguintes em uma determinada área.

Constatou-se também que a biotecnologia voltada ao desenvolvimento de milho transgênico concentra-se em artrópodes-praga e plantas daninhas, sendo que há uma carência quanto à disponibilização de milho transgênico para resistência às doenças na literatura científica. No entanto, ao longo do tempo, novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas a fim de otimizar a produção desse cereal, o que demonstra que há potencial para expansão da área cultivada com milho transgênico já disponível no mercado e mesmo com cultivares que venham a ser desenvolvidas no futuro, o que pode incluir transgenia voltada ao manejo de doenças de plantas.

Referências

ALBRECHT, Alfredo Junior Paiola *et al.* O milho RR2 e o glyphosate: Uma revisão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 13, n. 1, p. 58-67, 2014.

ALVES, Bruna Mendonça *et al.* Divergência genética de milho transgênico em relação à produtividade de grãos e à qualidade nutricional. **Ciência Rural**, v. 45, n.

05, p. 884-891, 2015.

AMARAL, Luiz Augusto *et al.* Efeito de doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas no solo. **Agrarian**, v. 10, n. 35, p. 31-41, 2017.

ARAÚJO, Roberto Melo. **Análise da conjuntura atual, desafios e oportunidades do uso do controle biológico no manejo de resistência de pragas às plantas geneticamente modificadas de algodão, milho e soja com tecnologia Bt no Brasil**. 2022. 112 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Agronegócio) – Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2022.

BALLERINI, H.A. *et al.* Toxinas inseticidas de *Bacillus thuringiensis*. In: RESENDE, Rodrigo R. **Biotecnologia aplicada à agro&indústria: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora Blucher, 2017. p. 737-774.

BANDEIRA, João Luciano. **A dinâmica geoeconômica do setor de genética vegetal no Brasil: os casos de milho, soja e trigo**. 2021, 280 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

BANERJEE, Rahul *et al.* Mechanism and DNA-based detection of field-evolved resistance to transgenic Bt corn in fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*). **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 10877, 2017.

BILBO, Tom R. *et al.* Effects of Bt corn on the development and fecundity of corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of economic entomology**, v. 111, n. 5, p. 2233-2241, 2018.

CABRERA-PONCE, José Luis *et al.* Genetic Modifications of Corn. In: SERNA-SALDIVAR, Sergio O. **Corn: Chemistry and Technology**. 3th. Cambridge Washington: Woodhead Publishing and AACC International Press, 2018. 43-85 p.

CARRIÈRE, Yves *et al.* Can pyramids and seed mixtures delay resistance to Bt crops?. **Trends in biotechnology**, v. 34, n. 4, p. 291-302, 2016.

CARRIÈRE, Yves *et al.* Optimizing pyramided transgenic Bt crops for sustainable pest management. **Nature biotechnology**, v. 33, n. 2, p. 161-168, 2015.

COELHO, Carla Carolynne Resueno *et al.* Biometria em plantas de milho submetidas ao alagamento. **Revista Agroecossistemas**, v. 5, n. 1, p. 32-38, 2013.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2022/23 – 8º levantamento**. Brasília, DF: CONAB, 2023. 103 p.

CONTINI, Elisio *et al.* **Milho: caracterização e desafios tecnológicos**. Brasília: Embrapa, 2019. 45p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **CTNBio aprova uso comercial de milho transgênico resistente a lagartas**. 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/71330966/ctnbio-aprova-uso>>

comercial-de-milho-transgenico-resistente-a-lagartas>. Acesso em: 16 maio. 2023.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Milho**. 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho>>. Acesso em: 27 maio. 2023.

FAO. Faostat: Countries by commodity. 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity>. Acesso em: 27 maio. 2023.

FARIAS, Juliano Ricardo *et al.* Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Crop protection**, v. 64, p. 150-158, 2014.

FORESTI, J. *et al.* Economic injury levels and economic thresholds for *Leptoglossus zonatus* (Dallas) (Hemiptera: Coreidae) infesting seed maize. **Pest Management Science**, Londres, v. 74, n. 1, p. 149-158, 2018.

HOLKEM, Aline S. *et al.* Weed management in Roundup Ready® corn and soybean in Southern Brazil: survey of consultants' perception. **Advances in Weed Science**, v. 40, 2022.

ISAAA – International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA). 2018. ISAAA publications. **Brief 54: Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops**: 2018. 2018. Disponível em: <<https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/54/default.asp>>. Acesso em: 01 jun. 2023.

JURAT-FUENTES, Juan Luis; CRICKMORE, Neil. Specificity determinants for Cry insecticidal proteins: Insights from their mode of action. **Journal of invertebrate pathology**, v. 142, p. 5-10, 2017.

KARAM, Décio *et al.* **Milho transgênico e manejo de plantas daninhas em milho**. 2013. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/93697/1/Milho-transgenico.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2023.

LI, Guoping *et al.* What type of Bt corn is suitable for a region with diverse lepidopteran pests: A laboratory evaluation. **GM Crops & Food**, v. 12, n. 1, p. 115-124, 2021.

LIU, Miao-miao *et al.* Molecular characterization and efficacy evaluation of a transgenic corn event for insect resistance and glyphosate tolerance. **Journal of Zhejiang University. Science. B**, v. 19, n. 8, p. 610, 2018.

MACIEL, Leandro Moreira; TUNES, Lilian Vanussa Madruga de. A importância do controle de qualidade nas sementes de milho. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 49934-49938, 2021.

MALL, Tejinder *et al.* Transgenic Crops: Status, Potential, and Challenges. In: GOSAL, Satbir Singh *et al.* **Biotechnologies of Crop Improvement**, 2018. Cham: International Publishing AG, 2018. p. 451–485.

MEISSLE, Michael *et al.* Fate of multiple Bt proteins from stacked Bt maize in the predatory lady beetle *Harmonia axyridis* (Pallas)(Coleoptera: Coccinellidae). **Environmental Pollution**, v. 268, p. 115421, 2021.

MENDES, Simone Martins *et al.* **Manejo de pragas nos sistemas de produção de milho no Brasil**: inovações tecnológicas no manejo de lagartas em lavouras de milho convencional e Bt. 2018. Disponível em: < <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1095401/1/Cap9Manejoprugas.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2023.

MICHELOTTO, Marcos Doniseti *et al.* Efficacy of transgenic mayze insecticide treatment to control fall armyworm in late-season maize in São Paulo state, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 2, p. 128-138, 2017.

MICHELOTTO, Marcos Doniseti *et al.* Milho transgênico (Bt): efeito sobre pragas alvo e não alvo. **Nucleus**, v. 10, p. 67-82, 2013.

MIRANDA, R. A. de. Uma história de sucesso da civilização. **A Granja**, v. 74, n. 829, p. 24-27, 2018.

PEREIRA, A. S. **Metodologia da Pesquisa Científica**. 1. ed. Santa Maria, RS: UFSM, NTE, 2018. 118 p.

REDDY, P.B. **Role Of Roundup Ready2 Yield Trait Technology In Sustainable Agriculture**. 2023. Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/P-Reddy-3/publication/285962661_ROLE_OF_ROUNDUP_READY_2_YIELD_TRAIT_TECHNOLOGY_IN_SUSTAINABLE_AGRICULTURE/links/56b5e64208ae5ad360597fbc/ROLE-OF-ROUNDUP-READY-2-YIELD-TRAIT-TECHNOLOGY-IN-SUSTAINABLE-AGRICULTURE.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2023.

QUEIROZ, Renata Fernandes. **Arranjo espacial do milho em sistema integração lavoura pecuária**. 2019. 54 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2019.

RAMOS, Leandro Nogueira. **Híbridos de milho geneticamente modificados comparados a híbridos de milho convencionais em Terras Altas do Brasil Central**. 2018. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

REIS, João Gilberto Mendes dos *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, n. 1, p. 131-146, 2016.

SILVA, Davi Francisco da *et al.* 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, 2021.

SILVA, Luiz Eduardo Bezerra *et al.* Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.): revisão de literatura. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1636-1657, 2020.

SOUZA, Aguinaldo Eduardo de *et al.* Estudo da produção de milho no Brasil: regiões

produtoras, exportação e perspectivas. **South American Development Society Journal**, v. 4, n. 11, p. 182-194, 2018.

SOUZA, Cassiana Felipe de Souza. **Desempenho agrônômico e eficiência de utilização de nitrogênio por cultivares de milho**. 2017. 50 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2017.

SOUZA, João Paulo Freitas de *et al.* Efeito de silicato de cálcio e magnésio no crescimento inicial de milho transgênico. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, n. 3, p. 13–17, 2015.

TIBULO, Cleiton; CARLI, Vaneza de. Previsão do preço do milho, através de séries temporais. **Scientia Plena**, v. 10, n. 10, p. 1-10, 2014.

VENUGOPAL, P. Dilip; DIVELEY, Galen P. Climate change, transgenic corn adoption and field-evolved resistance in corn earworm. **Royal Society Open Science**, v. 4, n. 6, p. 170210, 2017.

YAMAMOTO, Takashi. Engineering of *Bacillus thuringiensis* insecticidal proteins. **Journal of Pesticide Science**, v. 47, n. 2, p. 47-58, 2022.

YANG, Fei *et al.* Cross-resistance to purified Bt proteins, Bt corn and Bt cotton in a Cry2Ab2-corn resistant strain of *Spodoptera frugiperda*. **Pest management science**, v. 73, n. 12, p. 2495-2503, 2017.