



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
LSO - DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO
PACES - PROJETANDO AGRICULTURA COMPROMISSADA EM
SUSTENTABILIDADE

KAIO EDUARDO PIRES ÁLVARES
THALES GÓES PRUDENCIANO DE SOUZA

Tecnologias do milho

Piracicaba
2023

KAIO EDUARDO PIRES ÁLVARES
THALES GÓES PRUDENCIANO DE SOUZA

Tecnologias do milho

Revisão bibliográfica apresentada ao Grupo PACES - Projetando Agricultura Compromissada em Sustentabilidade, na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

Coordenadores:

Ana Clara Bordignon

João Gonçalves Oleá Leone

Piracicaba

2023

Sumário

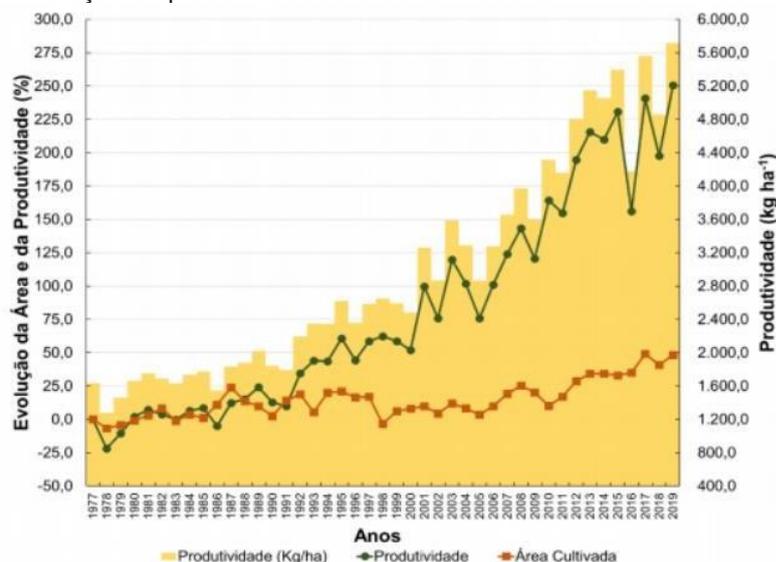
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. MILHO GENETICAMENTE MODIFICADO TOLERANTE À HERBICIDA.....	4
2.1 Milho tolerante ao glifosato	4
3. MILHO BT	9
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	15

1. INTRODUÇÃO

Plantas geneticamente modificadas são aquelas cujo genoma foi alterada pela introdução de DNA exógeno, que pode ser derivado de outros indivíduos da mesma espécie ou de uma outra espécie completamente diferente, podendo ser inclusive artificial, isto é, sintetizado em laboratório. O termo organismo geneticamente modificado (OGM) é também frequentemente utilizado para indicar, de maneira genérica, qualquer indivíduo que tenha sido manipulado geneticamente, utilizando as técnicas do DNA recombinante (GALVÃO; MIRANKA, 2004).

Os híbridos transgênicos de milho têm sido desenvolvidos, na sua maioria, de forma a disponibilizar aos produtores novas alternativas no controle de pragas e de espécies daninhas, principalmente (GALVÃO; MIRANKA, 2004). Tudo isso resulta em um aumento de produtividade; como exemplo, no Mato Grosso, já foi alcançada a faixa de 200 sacas/ha, na safra de 2021/22, na cidade de Sorriso (PETROLI, 2023). Esse gráfico demonstra como a produtividade de milho vêm aumentando nos últimos anos, muito em decorrência do uso de novas técnicas e também de híbridos da cultura (ZANETTI, 2020).

Figura 1: Evolução da produtividade e área cultivada com milho no Brasil.



Fonte: Zanetti (2020)

Portanto, pode-se afirmar que o uso de híbridos é uma das causas responsáveis pela maior produtividade e produção dessa cultura no país, podendo alcançar números expressivos de sacas/ha. Algumas tecnologias serão abordadas nesta revisão, como o milho resistente ao herbicida glifosato e o milho Bt, que apresenta tolerância à lagartas.

2. MILHO GENETICAMENTE MODIFICADO TOLERANTE À HERBICIDA

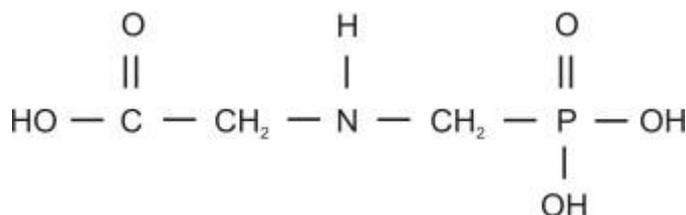
As plantas daninhas são responsáveis por enormes prejuízos à agricultura; vários métodos são utilizados no seu controle, entre eles o controle químico com herbicidas. Por causa disso, diferentes tipos de variedades tolerantes a herbicidas estão sendo comercializados na América do Norte e Europa (GALVÃO; MIRANKA, 2004).

O desenvolvimento de variedades tolerantes a herbicidas é um das primeiras características agrônômicas desenvolvidas pela indústria de biotecnologia do mundo. Essas plantas geneticamente modificadas visam tornar o controle de plantas daninhas mais prático, econômico e com menor impacto no meio ambiente. Os benefícios das plantas geneticamente modificadas tolerantes a herbicidas, quando comparadas às convencionais, em sistemas de alta tecnologia incluem: menor volume de aplicação de herbicidas; redução dos custos com a redução das pulverizações e controle eficiente de um grande espectro de gramíneas e espécies de folha larga (GALVÃO; MIRANKA, 2004).

2.1 MILHO TOLERANTE AO GLIFOSATO

O glifosato foi originalmente sintetizado em 1964 como potencial quelante industrial e seu uso como herbicida apenas foi descrito em 1971. O glifosato é um potente herbicida de pós-emergência, largo espectro, não seletivo, capaz de controlar cerca de 76 plantas invasoras (YAMADA; CASTRO, 2007).

Figura 2: Estrutura química do glifosato.

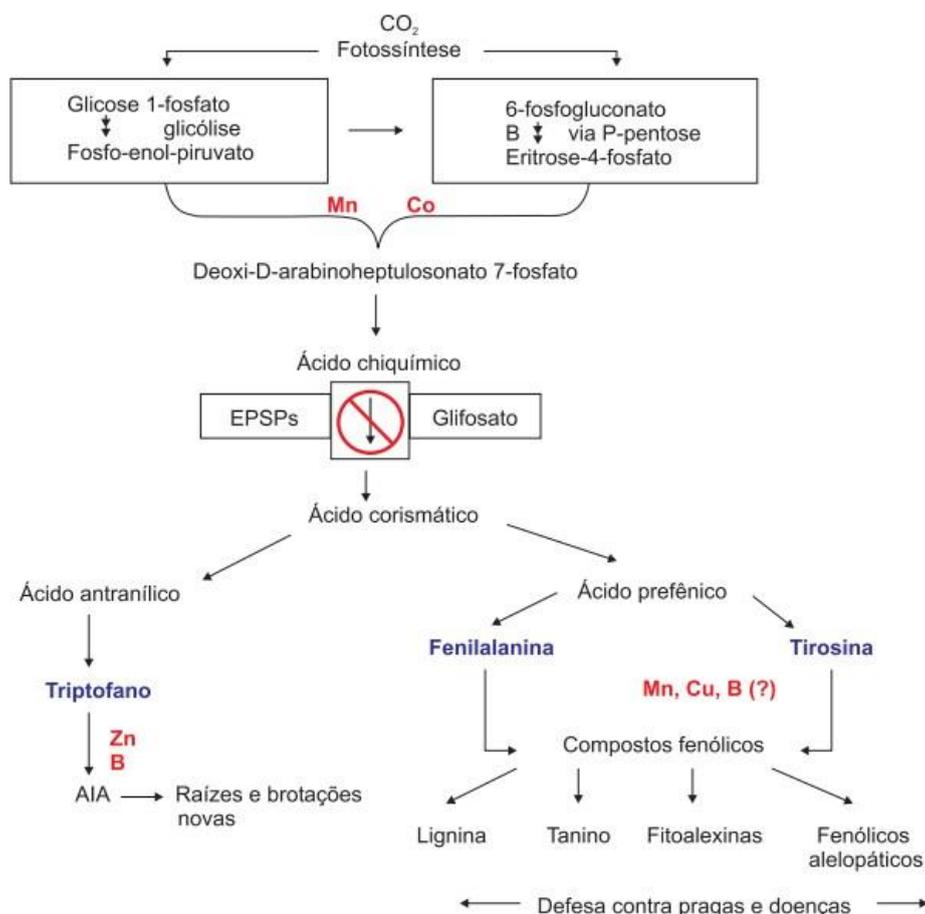


Fonte: Yamada; Castro (2007).

O mecanismo de ação do glifosato consiste na inibição da enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPS), que catalisa a condensação do ácido chiquímico e do fosfato piruvato, o que evita a síntese de três aminoácidos essenciais: triptofano, fenilalanina e tirosina (YAMADA; CASTRO, 2007).

O ponto final da rota do chiquimato é a formação do corismato, a partir do qual muitos metabólitos secundários são formados. Entre estes temos, tetrahydrofolatos (THF), ubiquinona e vitamina K; essenciais para a vida da planta. A fenilalanina, além de participar da biossíntese de proteínas, também é substrato para a síntese de fenilpropanóide, que produz numerosos produtos secundários de plantas, tais como antocianinas, lignina, promotores e inibidores de crescimento e compostos fenólicos, muitos destes implicados na defesa da planta contra doenças e pragas. O triptofano é precursor do ácido indolacético (AIA), hormônio vegetal necessário para a expansão celular, manutenção da dominância apical e muitos outros processos regulatórios (YAMADA; CASTRO, 2007).

Figura 3: Ação do glifosato e de micronutrientes na rota do ácido chiquímico, que leva à formação de compostos envolvidos na defesa da planta contra pragas e doenças.

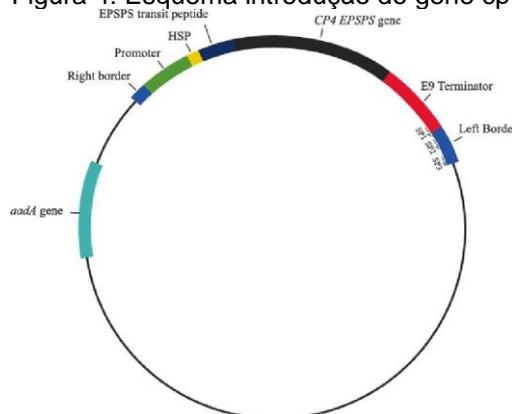


Fonte: Yamada; Castro (2007).

Algumas bactérias super produzem a EPSPs, podendo se desenvolver em concentrações que seriam tóxicas para outros organismos. Logo, a transferência de gene com tolerância ao glifosato a uma planta suscetível confere, a esta, tolerância ao glifosato (YAMADA; CASTRO, 2007).. O gene inserido nas variedades tolerantes

ao glifosato é denominado de cp4 epsps, sendo sua função codificar para a enzima CP4 EPSPS, que confere a tolerância a este herbicida. Tal característica foi obtida pela inserção de um gene da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPS) oriundo da bactéria *Agrobacterium spp.*, que é exatamente o composto bloqueado pelo herbicida, que impede o desenvolvimento da planta. Esta enzima não é bloqueada pelo glifosato, permitindo o crescimento normal das plantas quando pulverizadas com o produto. Linhagens e híbridos que possuem o gene cp4 epsps para tolerar a ação do glifosato permitem a aplicação deste herbicida em pós-emergência às plantas daninhas e à cultura (GALVÃO; MIRANKA, 2004).

Figura 4: Esquema introdução do gene cp4-epsps



Fonte: Davis (2007).

O milho GA21, lançado em 1980, foi a primeira variedade de milho resistente a glifosato. A enzima EPSPS, inserida no milho através de biobalística, possuía um gene promotor originado de plantas de arroz e semelhante a 99,3% com a EPSPS selvagem isolada. Porém, a expressão da EPSPS nestas plantas era reduzida, principalmente em tecidos novos e reprodutivos, como flores (ALBRECHT, 2014).

A segunda geração do milho RR possui uma enzima diferente da primeira. O milho NK603 foi desenvolvido com promotores virais e elementos regulatórios que elevam a expressão da tolerância ao glifosato na planta, principalmente nos tecidos anteriormente vulneráveis. A homologia desta enzima com a EPSPS selvagem é de 99,7%, fazendo com que diminuísse severamente o índice de fitotoxidez de glifosato em variedades resistentes. No Brasil, os primeiros híbridos tolerantes ao glifosato já apresentavam a segunda geração da tecnologia RR (ALBRECHT, 2014).

No experimento de Silva (2020), foi avaliado a fitotoxidez de 1440 g i.a/ha de glifosato em associação com outros herbicidas no milho híbrido Forseed 2A521 PW.

Tabela 1: Tratamentos com diferentes herbicidas em variadas doses e modos de ação, e suas respectivas porcentagens de fitotoxidez em milho RR.

Tratamentos	Doses	Modo de aplicação	Fitotoxidez do milho (%)		
			7 DAT	14 DAT	21 DAT
Atrazina/glifosato	2500 +1440	Pré/pós	3.75	0.00	0.00
Atrazina + simazina/glifosato	1500+1500+1440	Pré/pós	4.25	0.00	0.00
atrazina + óleo/glifosato	2400+1440	Pré/pós	3.25	0.00	0.00
S-metalochlor/glifosato	1680+1440	Pré/pós	4.25	3.25	0.00
Atrazina+S-metalochlor/glifosato	1480+920+1440	Pré/pós	4.00	3.00	0.00
Glifosato	1440	Pré/pós	0.00	0.00	0.00
Glifosato + atrazina	1440+2500	Pós	3.25	0.00	0.00
Glifosato + atrazina + óleo	1440+2400	Pós	4.25	4.00	0.00
Glifosato + S-metalochlor	1440+2400	Pós	4.50	3.00	0.00
Glifosato + atrazina + simazina	1440+1500+1500	Pós	5.00	5.00	0.00
Glifosato + atrazina + S-metalochlor	1440+1480+920	Pós	4.50	5.00	0.00
Glifosato + nicossulfurom + mesotrione	1440+23,4+109,4	Pós	5.25	3.00	0.00

Fonte: Adaptado de Silva (2020).

Se percebe pouca porcentagem de fitotoxidez em qualquer tipo de tratamento. Com isso, conclui-se que o uso de glifosato, tanto de maneira isolado como consorciado com outros herbicidas seletivos para o milho, na variedade resistente a glifosato, resultou numa fitotoxidade muito pequena. Portanto, o uso de glifosato em milho RR é algo que não traz dano para essa variedade (SILVA, 2020).

Para realizar o controle de milho tiguera com essa variedade, glifosato não será eficiente, dada sua resistência. Logo, é necessário o uso de outro herbicida para

o controle. Esse experimento de López-Ovejero (2016) avaliou o uso de clethodim para o controle de milho tiguera BMX ATIVA RR na cultura da soja no MT. Diferentes doses de clethodim foram usadas e aplicadas em estágio de 3 trifólios (3T) e 6 trifólios (6T).

Tabela 2: Controle percentual de milho voluntário, germinado a partir de segmentos de espigas distribuídas em três densidades, nas entrelinhas da soja, avaliado na pré-colheita da cultura da soja, no MT.

Segmentos de espiga	Cletodim (g i.a/ha)	Local de aplicação	Porcentagem de controle no MT
Testemunha absoluta capinada	Ausente	-	100
1	Ausente	-	0
2	Ausente	-	0
4	Ausente	-	0
1	108	3T	55,0
2	108	3T	45,0
4	108	3T	52,5
1	108	6T	100
2	108	6T	100
4	108	6T	83,8
1	108 e 84	3T e 6T	100
2	108 e 84	3T e 6T	100
4	108 e 84	3T e 6T	92,5

Fonte: Adaptado de López-Ovejero (2016).

De acordo com o experimento, é possível concluir que o uso de clethodim foi eficiente para o controle de milho RR tiguera, sendo os melhores controles apresentados quando ocorreu 2 aplicações, uma quando a soja possuía 3 trifólios na dose de 108 g i.a/ha e outra quando ela apresetou 6 trifólios, na dose de 84 g i.a/ha.

3. MILHO BT

As raças adaptadas da *Spodoptera frugiperda*, conhecida como lagarta-do-cartucho ou lagarta militar é uma das pragas mais importantes para a cultura do milho, podendo causar perdas significativas da lavoura, por volta de 34%, segundo Cruz (1995). O controle dessa lagarta era feito principalmente através de inseticidas químicos, os quais podem trazer algumas consequências como possível toxicidade ao homem, ambiente e redução da biologia da lavoura, caso sejam utilizados inseticidas com um grau de seletividade mais baixo, como os organofosforados.

Como alternativa de controle da lagarta, comumente é utilizado o Manejo Integrado de Pragas (MIP), onde dentro desse manejo existem diversas formas de controle, sendo que uma delas é o varietal, onde o controle das pragas é feito utilizando variedades ou cultivares que apresentam resistência a determinadas pragas sob condições específicas. Essa é uma boa alternativa quando é avaliado em termos de custo e principalmente segurança quanto à toxicidade ao homem e ao meio ambiente.

Figura 5: Lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) se alimentando de folhas de milho



Fonte: Loguercio (2002)

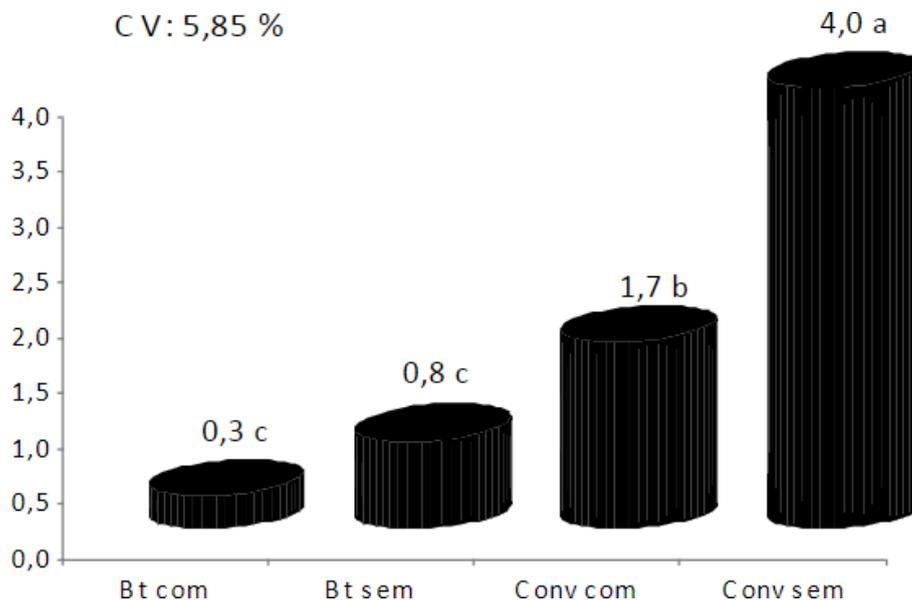
O *Bacillus thuringiensis*, ou popularmente conhecido como “Bt” é uma bactéria encontrada no solo e em diversos ecossistemas do planeta. O gênero *Bacillus* possui um desenvolvimento específico em que uma das fases ocorre uma esporulação onde o esporo bacteriano e os cristais proteicos são formados. Esses cristais formados em Bt podem ser chamados também de e “ δ -endotoxinas” ou “ICPs” (do inglês

insecticidal crystal proteins) e são codificados pelos genes *cry*, que possui uma alta especificidade em relação às espécies alvo de insetos afetados. A especificidade alcançada por essa proteína é oriunda da co-evolução de proteínas receptoras de superfície localizadas no mesêntero (intestino médio) dos insetos sensíveis, que se ligam às δ -endotoxinas e modificam a conformação de tal forma que ocorre vazamento de íons e dano osmótico das células, causando então uma desintegração do intestino do inseto e em consequência, sua morte, portanto, há seletividade para os insetos que possuem os receptores compatíveis para as endotoxinas. Existem diversos genes que caracterizam diferentes controles para determinadas pragas, os genes *cry1*, *cry2* e *cry9* são específicos para lepidópteros, *cry3*, *cry7* e *cry8* contra coleópteros, *cry5*, *cry12*, *cry13* e *cry14* são ativos contra nematóides e *cry2*, *cry4A*, *cry10*, *cry11*, *cry17*, *cry19*, *cry24*, *cey25*, *cry27*, *cry29*, *cry30*, *cry32*, *cry39* e *cry40* contra dípteros, sendo que o gene *cry1A* é o tipo mais comum de cristal que é encontrado nas cepas de Bt (CÉRON *et al.*, 1994).

A tecnologia Bt tem algumas pragas alvos, dentre elas pode ser destacado principalmente a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), que se localiza no cartucho das plantas de milho e reduz a área foliar na fase vegetativa da cultura, no entanto, essa também apresenta danos na fase de emergência das plantas, reduzindo o stand e pode atacar as espigas durante o enchimento de grãos. Além dessa, é indicado contra a lagarta-da-espiga (*Helicoverpa zea*) que também ataca os grãos reduzindo a fertilidade e peso destes, assim como as pragas de solo, lagarta elasmó (*Elasmopalpus lignosellus*) que danifica o sistema condutor de água e nutrientes deixando as folhas murchas e secando, além da lagarta rosca (*Agrotis ipsilon*) que realiza o corte das plântulas de forma rente ao solo ou quando em estágio mais avançado causar um perfilhamento excessivo. (Bayer S.A., 2022)

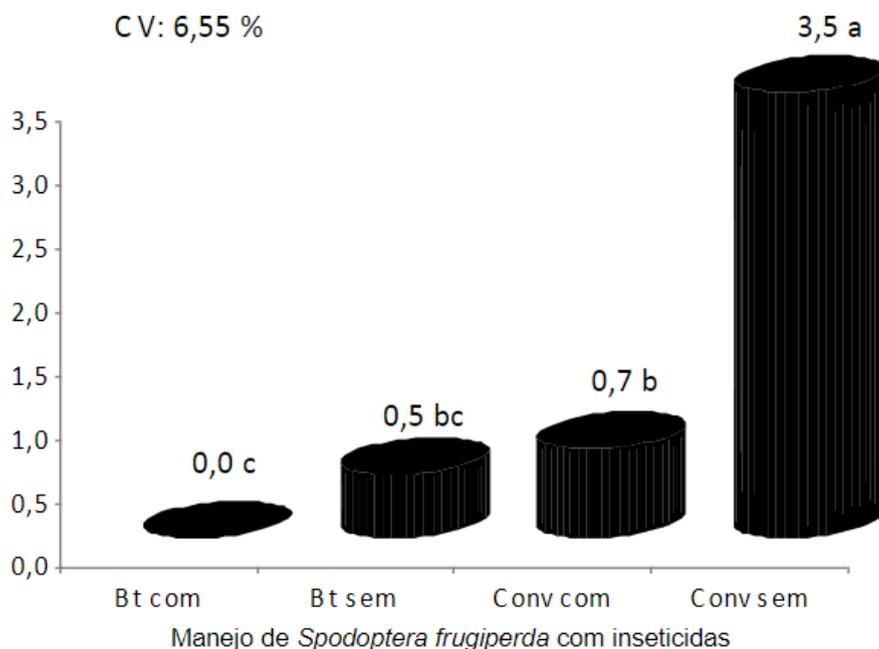
Em um estudo em diversas regiões foi realizado a avaliação dos estados de cinco híbridos Bt e suas isolinhas convencionais, perfazendo 10 híbridos, com e sem aplicação de inseticidas, onde os locais onde teve aplicação, o objetivo foi manter baixo os níveis de desfolha causados pela *Spodoptera frugiperda*, onde os danos foram classificados em vinte plantas seguindo a escala de danos de DAVIS *et al.* (1992) nos estádios V4 e V8. Os resultados de produtividade foram divididos em híbridos convencionais sem a aplicação de inseticidas, híbridos convencionais com a aplicação de inseticidas, assim como híbridos Bt com e sem aplicação de inseticidas.

Figura 6: Avaliação visual (estádio de desenvolvimento da cultura V4) de híbridos de milho Bt com aplicação de inseticidas (Bt com), Bt sem aplicação (Bt sem), convencional com aplicação (Conv com) e convencional sem aplicação de inseticidas (Conv sem) nos municípios de Naviraí, Maracaju, Dourados, Rio Brilhante, Sidrolândia e São Gabriel do Oeste-MS. Segunda safra de 2010.



Fonte: Lourenção *et al.* (2013)

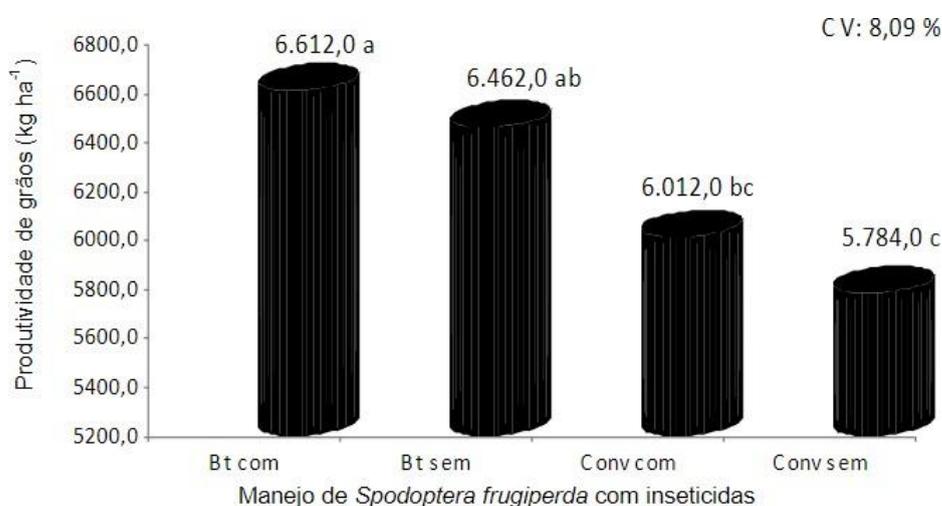
Figura 7: Avaliação visual (estádio de desenvolvimento da cultura V8) de híbridos de milho Bt com aplicação de inseticidas (Bt com), Bt sem aplicação (Bt sem), convencional com aplicação (Conv com) e convencional sem aplicação de inseticidas (Conv sem). Naviraí, Maracaju, Dourados, RioBrilhante, Sidrolândia e São Gabriel do Oeste-MS. Segunda safra 2010.



Fonte: Lourenção *et al.* (2013)

Portanto, é possível observar a tecnologia Bt é eficaz contra o ataque de lagartas tanto em V4 quanto em V8, no entanto ainda assim em determinados casos haverá necessidade de aplicação contra esses insetos para uma maior segurança de produção, dessa forma, a utilização da tecnologia influencia diretamente a produtividade, como mostrado na figura abaixo.

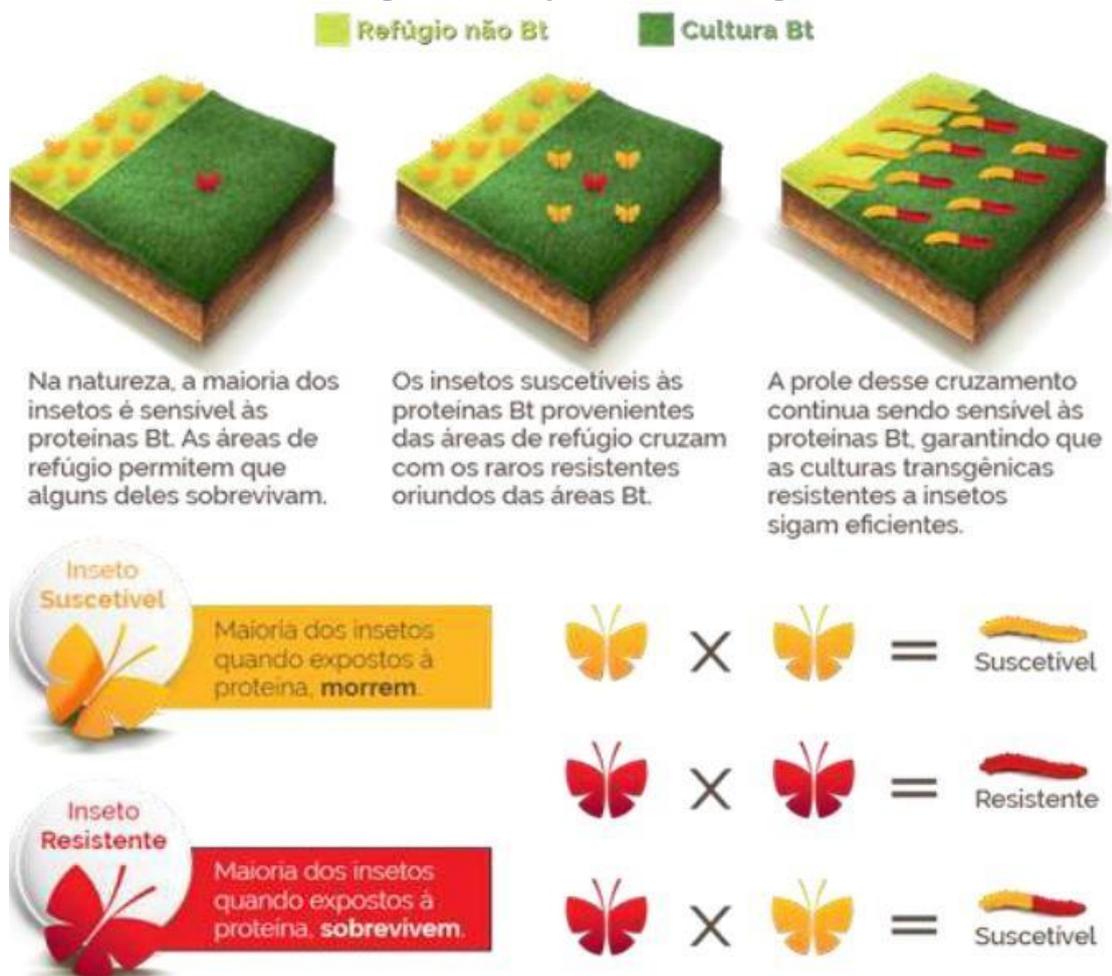
Figura 8: Produtividade de grãos de híbridos de milho Bt com aplicação de inseticidas (Bt com), Bt sem aplicação (Bt sem), convencional com aplicação (Conv com) e convencional sem aplicação de inseticidas (Conv sem). Naviraí, Maracaju, Dourados, Rio Brilhante, Sidrolândia e São Gabriel do Oeste-MS. Segunda safra de 2010.



Fonte: Lourenção *et al.* (2013)

No entanto, mesmo a tecnologia Bt sendo eficaz contra essas pragas, há necessidade de monitoramento para manejo de resistência, pois estas possuem a capacidade de se adaptar referente às proteínas Bt. O monitoramento é importante para a detecção de mudança dos genes, mas as principais estratégias de manejo de resistência quando se faz o uso da tecnologia Bt é primeiramente a expressão de alta dose da proteína Cry no híbrido transgênico e utilização da área de refúgio, pois dessa forma quando existir uma certa resistência, há maior probabilidade de cruzamento entre um indivíduo resistente e outro refúgio, gerando então uma geração sensível ao gene Bt, mantendo sua eficácia. (CARNEIRO *et al.*, 2009)

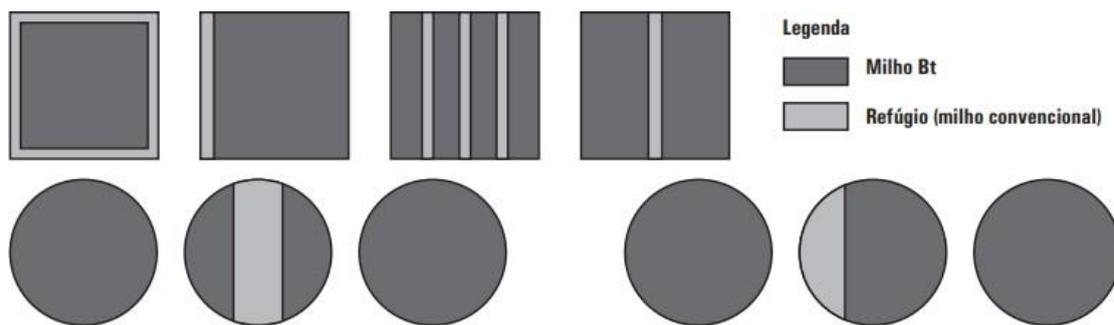
Figura 9: Utilização da área de refúgio



Fonte: Croplife brasil (2022)

No Brasil, a recomendação para a área de refúgio é que seja no mínimo 10% da área plantada e que esta esteja no máximo a 1,5 km de distância das lavouras que contém tecnologia Bt. Ainda mais, que o milho cultivado será o convencional e que este possua o desenvolvimento fenológico semelhante ao do híbrido Bt. Essas áreas podem receber manejos com inseticidas, desde que não seja utilizado produtos a base de *B. thuringiensis*.

Figura 10: Opções de plantio de refúgio dentro da área.



Fonte: Adaptado de ABRASEM (2008)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dessa forma, é possível afirmar que o grande avanço obtido na produção e produtividade de alimentos no Brasil e no mundo foi obtido graças ao avanço e desenvolvimento de tecnologias alcançadas através da ciência. Isso, por sua vez, não impacta somente a economia do produtor e do país, mas garante uma maior oferta de comida, gerando uma maior segurança alimentar tanto nacional quanto mundial, além da redução de custos por menor utilização de produtos químicos nas lavouras, e por consequência uma proteção ambiental, gerando assim uma agricultura mais rentável e sustentável. Além disso, é importante ressaltar a importância de promover um constante incentivo para que a ciência continue desenvolvendo novas tecnologias que sejam aplicáveis aos produtores, podendo assim contribuir para a produção de alimentos cada vez mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRASEM. **Associação Brasileira de Sementes e Mudas. Manejo de Resistência de Insetos.** Planaltina, DF, 2008.

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.

BAYER. A evolução da Família VT PRO. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/Acesso em: 25 novembro 2023>.

CERÓN, J.; COVARRUBIAS, L.; QUINERO, R.; ORTIZ, A.; ORTIZ, M.; ARANKA, E.; LINA, L.;

BRAVO, A. **PC analysis of the crystal insecticidal crystal family genes from *Bacillus thuringiensis*.** Applied and Environmental Microbiology, Washington, D. C., v. 60, p. 55-56, 1994.

CRUZ, I. **A lagarta-do-caituco na cultura do milho.** Sctc Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1995 (EMBRAPA/ CNPMS, Ciência e Tecnologia, 21)

GALVÃO, João Carlos Cardoso; MIRANKA, Gláucia Viciá. **Tecnologias de Produção de Milho.** Viçosa: Editora Ufviç, 2004. «66 p.

LOGUERCIO, Leonardo Lopes. **MILHO Bt.** Sctc Lagoas-Mg: Embrapa, 2002.

LÓPEZ-OVEJERO, Ramiro Fernando et al. Interferência e controle de milho voluntário tolerante ao glifosato na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 340-347, 2016.

LOURENÇÃO, André Luis Faleiros; FERNANDES, Marcos Gino. Avaliação do Milho Bt Cry1Ab e Cry1F no controle de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797)(Lepidoptera: Noctuidae) em condições de campo. **Científica**, v. 41, n. 2, p. 164-188, 2013

PEIRELOI, Vitoric. **Milho possui potencial genético para ser explorado, afirmam indústrias.** 2020. Disponível em: <https://www.canal5.com.br/projetos/sitcs-cspcciais/milho-possui-potencial-genetico-para-ser-explorado-afirmam-industrias/>. Acesso em: 26 maio 2020.

SILVA, Maicon Rodrigues da et al. Weed management in glyphosate-resistant maize. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 87, 2020.

YAMADA, Tsuioshi; CASTRO, PR de C. Efeitos do glifosato nas plantas: implicações fisiológicas e agrônômicas. **Informações Agrônômicas**, v. 119, p. 1-32, 2007.

ZANETTI, Willian Apáccido Lcoti. **A:aliação dc tcc→ologias c tcc→ologias →a Cultúia do Milko**. 2020. Kispóí:cl cm: [https://maissoja.com.br/a:aliacao-dc-tcc-ologias-c-tcc-ologias-a-c"l"ia-do-milko/](https://maissoja.com.br/a:aliacao-dc-tcc-ologias-c-tcc-ologias-a-c). Acesso em: 26 nov. 2023.