

Luisa Carolina Baccin<sup>1</sup>, Alfredo Junior Paiola Albrecht<sup>2</sup>, Leandro Paiola Albrecht<sup>2</sup>, Mateus Dalpubel Mattiuzzi<sup>3</sup>, Ricardo Victoria Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP. Avenida Pádua Dias - Agronomia, Piracicaba - SP, 13418-900. E-mail: luisabaccin@usp.br, rvictori@usp.br

<sup>2</sup> Universidade Federal do Paraná – UFPR. R. Pioneiro, 2153 - Dallas, Palotina - PR, 85950-000. E-mail: ajpalbrecht@yahoo.com.br, lpalbrecht@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Maringá- UEM. Av. Colombo, Maringá- PR, 87020-900. E-mail: matmattiuzzi@gmail.com.

**RESUMO:** Duas décadas após a introdução de tecnologias transgênicas no Brasil, o país ocupa hoje a segunda posição no ranking de produção de plantas transgênicas. A introdução destas tecnologias promoveu grandes mudanças no cenário agrícola do país, possibilitando o aumento da produtividade, sem a demanda de expansão de novas áreas. No manejo de plantas daninhas, as tecnologias tolerantes a herbicidas foram muito importantes e novas tecnologias vem sendo desenvolvidas. Visto a grande importância dessas tecnologias, objetivou-se reunir dados a respeito da obtenção, impacto ambiental e impacto no manejo de plantas daninhas das plantas transgênicas e das novas tecnologias que estarão disponíveis no mercado nos próximos anos. As novas tecnologias, principalmente aquelas relacionadas à tolerância a herbicidas irão possibilitar um manejo mais eficiente das plantas daninhas de modo à evitar a pressão de seleção causada pelo uso repetido de apenas um produto, além de aliar a vantagem de facilidade de controle de plantas daninhas à alta produtividade.

**PALAVRAS-CHAVE:** OGM, transformação genética, culturas.

### TRANSGENIC CROPS AND NEW TOOLS IN THE AGRICULTURE

**ABSTRACT:** Two decades after the introduction of transgenic technologies in Brazil, the country today is in the second position in the ranking of production of transgenic crops. The introduction of these technologies has led to major changes in the country's agricultural landscape, enabling increased productivity without the need to expand new areas. In weed management herbicide tolerant technologies were very important and new technologies have been developed. Given the great importance of this technology, the objective was to obtain more information related to the obtaining, environmental impact and impact on weed management of transgenic plants and new technologies that will be available in the market in the coming years. New technologies, particularly those related to herbicide tolerance, will enable more efficient weed management to avoid selection pressure caused by repeated use of only one product, and combine the advantage of ease of weed control with high productivity.

**KEY-WORDS:** GMO, genetic transformation, crops.

A transgenia, em termos agronômicos, consiste na transferência de genes de um organismo para o vegetal, visando a expressão das proteínas de interesse. Este processo ocorre sem a dependência da fecundação e através das técnicas de engenharia genética, e pela biotecnologia esta transferência de genes é possível entre espécies que não são compatíveis, ou seja, em espécies que o cruzamento não pode ocorrer, como é o caso da introdução de genes de bactérias em plantas (Soares-Costa et al., 2017; Coelho, 2016).

A primeira planta transgênica foi desenvolvida em 1983, por meio da introdução de genes de uma bactéria (NPTII) que confere resistência à antibiótico em tabaco. Em 1994 o lançamento comercial da primeira planta transgênica no mundo: uma espécie de tomate com genes que comandam a expressão de enzimas responsáveis pela quebra da parede celular, aumentando o tempo de armazenamento (Kramer e Redenbaugh, 1994).

Outros fatores importantes são a tolerância dos transgênicos a fatores bióticos e abióticos, os benefícios nutricionais e a redução no impacto ambiental. Além é claro, do fator econômico e social, que foi extremamente relevante na adoção das culturas transgênicas nestes 20 anos de produção no Brasil. Além da lucratividade, a adoção das tecnologias transgênicas permitiu aumentar a produção evitando a pressão pela abertura de novas áreas agrícolas (CIB, 2018).

### **MELHORAMENTO GENÉTICO X TRANSGENIA**

O melhoramento genético clássico baseia-se em cruzamento entre espécies com o objetivo de transferir genes de interesse, para que as plantas tenham o fenótipo desejado. Com o avanço da biotecnologia e o desenvolvimento de técnicas, como a do DNA recombinante, hoje é possível selecionar os genes de interesse que se deseja transferir de uma espécie para. Já no melhoramento clássico o melhorista precisa trabalhar com o genoma inteiro (Missio e Grange, 2013).

O primeiro passo na obtenção de plantas transgênicas é a identificação do organismo de origem e do gene a ser transferido. Basicamente para que a transformação ocorra é necessário montar o chamado cassete de expressão gênica, o qual é formado por um promotor, o gene de interesse, um gene marcador e uma sequência terminadora. Os promotores tratam-se de regiões

genômicas que direcionam a expressão gênica, pois é nesta região que inicia-se a transcrição da molécula de DNA (Ribeiro et al, 2012).

No processo de transferência de genes é importante agregar ao cassete de expressão gênica um gene marcador para verificar se a transferência foi realizada de maneira eficaz e após a regeneração do tecido da planta o gene transferido realmente está inserido no código genético da planta. Os genes marcadores podem ser genes repórteres ou genes de seleção, como é o caso do gene *NTP II* e do gene *pat* que conferem resistência ao antibiótico cinamicina e ao herbicida glufosinate respectivamente. De modo que somente as plantas transformadas terão habilidade de se desenvolver no meio de cultivo contendo estas substâncias (Ribeiro et al, 2012; Krenchinski, 2018).

Ao final da transcrição do DNA, encontra-se uma sequência de pares de bases na fita do DNA para que as RNAs polimerases identifiquem o ponto de término da transcrição. Após o desenvolvimento do gene de interesse a ser transferido e a introdução do gene no tecido da planta, as enzimas de restrição vão atuar fragmentando a estrutura do DNA do tecido vegetal e a ligação ao DNA exógeno é realizado por meio das enzimas de ligação e a introdução do cassete de clonagem em uma célula hospedeira é realizada através de vetores de clonagem: plasmídeos (transferência de genes de até 10 kb) bacteriófagos (inserção de genes de 9 a 25 kb), cosmídeos (acomodam fragmentos de DNA exógeno de 40 kb) (Santarém, 2000).

A transformação de plantas em si pode ocorrer direta ou indiretamente. A transformação indireta envolve a transformação via *Agrobacterium* ou via vírus enquanto a transformação direta envolve métodos químicos ou físicos, com destaque para a biobalística, microinjeção de DNA, eletroporação (físicos). Após a transformação, que geralmente é realizada em tecidos específicos da planta é necessário que ocorra a regeneração dos tecidos. Uma das limitações da aplicação da biotecnologia é que somente as plantas que têm a capacidade de regeneração *in vitro*, que tem a capacidade de serem transformadas geneticamente (Santarém, 2000; Soares-Costa et al, 2017).

## PLANTAS TRANSGÊNICAS

Atualmente, a nível mundial os cultivos transgênicos vem ganhando grande expressão. As pesquisas com plantas transgênicas vão muito além da soja e do milho, para culturas como arroz, banana, beterraba, cana-de-açúcar, laranja, mamão, mandioca, berinjela e abobrinha geneticamente modificados, entre outros alimentos. As culturas com eventos transgênicos com

aprovação para cultivo no Brasil são a soja com 17 eventos transgênicos, milho (44), algodão (16), feijão (1), eucalipto (1), cana-de-açúcar (1) (ISAAA, 2018).

A maioria das plantas transgênicas possuem características de resistência a insetos, tolerância a herbicidas ou as duas características combinadas no mesmo evento. Estas características tiveram efeito significativo na agricultura (Cerdeira, et al. 2009).

A primeira cultura transgênica tolerante a herbicida foi o algodão que apresentava genes que promoviam tolerância ao bromoxynil, nos EUA, e a canola tolerante ao glufosinate, no Canadá. A comercialização destas plantas teve início em 1995 (Culpepper e York, 1997)

Em 1996 houve a introdução da soja e da canola Roundup Ready® (tolerante ao glyphosate) nos Estados Unidos, seguido do algodão e do milho em 1997 e 1998, respectivamente, e da beterraba e alfafa. A canola tolerante ao glufosinate foi liberada para comercialização em 1995, o milho tolerante a glufosinate foi lançado em 1997, seguido de algodão e arroz tolerantes em 2004 e 2006, respectivamente (Duke; Cerdeira, 2005).

No Brasil, a primeira planta transgênica aprovada foi a soja tolerante ao herbicida glyphosate, a soja Roundup Ready® (RR), em 1998. A biotecnologia desenvolvida pela Monsanto teve aprovação comercial para plantio experimental no Brasil em 1998, porém esta autorização foi suspensa e a nova aprovação para plantio e comercialização da cultura novamente ocorreu em 2003. A introdução do gene *cp4* da *Agrobacterium* sp. codifica a enzima EPSPs insensível ao glyphosate, conferindo a tolerância ao herbicida nas plantas transformadas (Duke, 2002; Cerdeira, et al. 2009).

Antes da introdução das tecnologias tolerantes a herbicidas, a problemática no controle de plantas daninhas era relacionada a falta de opção de uma molécula seletiva para as culturas com amplo espectro de controle de plantas daninhas na pós emergência. Com a obtenção da tecnologia Roundup Ready® vários benefícios oferecidos pela tecnologia fizeram com que a adoção desse cultivo a nível mundial fosse tão expressiva (Albrecht et al, 2013).

A tecnologia BtRR2, segunda geração da tecnologia de tolerância ao glyphosate, aprovada pela CTNBio em 2010 e comercializada em 2013, foi obtida a partir do cruzamento entre os parentais MON 87701 x MON 89788 (BtRR2Y) via melhoramento genético convencional, contendo a soja MON 87701 o gene *Cry1Ac* proveniente de *Bacillus thuringiensis*, o que confere resistência a insetos e a soja MON 89788 que contém a expressão do gene *CP4EPSPs*, tolerante ao glyphosate (Albrecht et al, 2013; CIB, 2012).

Em 2011 foi aprovada a liberação comercial a primeira variedade transgênica de feijão do mundo, desenvolvida pela Embrapa no Brasil. O evento inseriu genes de resistência ao vírus do mosaico dourado (gene *ac1*) o qual inibe a síntese de replicação viral, conferindo resistência do feijoeiro ao vírus do mosaico dourado (Faria e Aragão 2013; ISAAA, 2018).

O uso de plantas transgênicas para saúde humana é realizado em larga escala, devido ao reduzido custo de produção e a capacidade de produção em larga escala. Pesquisas apontam a produção de antígenos em plantas transgênicas para o desenvolvimento de vacinas contra a Hepatite B, sendo o gene que codifica a produção de antígeno integrado e expresso em plantas de tabaco, batata, tomate, banana, soja, entre outras plantas (Soares-Costa et al, 2017). Esses são alguns, entre muitos exemplos, de plantas transgênicas que possuem benefícios ao agronegócio e a sociedade como um todo.

## **REGULAMENTAÇÃO E IMPACTO AMBIENTAL DOS TRANSGÊNICOS**

O produto transgênico só obtém sua liberação após análise dos resultados de diversos testes de biossegurança, que no Brasil, são realizados pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (Ibama), Ministério do Meio Ambiente (MMA) e pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama).

Dentre as avaliações realizadas nos materiais transgênicos, cita-se a equivalência substancial (ES) que compara a composição do material transgênico com o convencional, avaliando a segurança do material genético introduzido, a segurança da proteína expressa pelo gene, o potencial alergênico, a toxicidade, a segurança da composição do alimento, estudos com animais de grande porte e a resistência a antibióticos (Ribeiro et al, 2012).

Estudos apontam a redução do risco e de impacto ambiental com a introdução de culturas transgênicas, devido a menor utilização de defensivos. Atualmente nenhum herbicida utilizado nas tecnologias transgênicas, aplicados em doses recomendadas, apresentam contaminação significativa no solo. O glyphosate não possui efeito herbicida no solo e é rapidamente degradado por microrganismos, bem como o glufosinate, inclusive estudos sugerem que o glyphosate aumenta a atividade microbiana no solo. Outro benefício do uso das culturas transgênicas tolerantes a herbicidas é a possibilidade de adoção do sistema de plantio

direto, contribuindo com a diminuição da erosão, perda de água e compactação do solo (Cerdeira, et al. 2009; Haney et al., 2000; 2002).

Na água, mesmo sendo muito solúveis, estudos apontam que o glyphosate e o glufosinate não apresentam lixiviação considerável e em águas de superfície o glyphosate é dissipado de forma mais rápida do que outros herbicidas alternativos (Carpenter et al., 2002).

Outra característica das plantas transgênicas é a capacidade de redução no uso da água e da extração de recursos naturais, existindo atualmente plantas melhoradas geneticamente para responder a FBN, reduzindo necessidade de adubação nitrogenada, plantas tolerantes a seca e a salinidade, frio, inundação, plantas melhoradas visando maior resposta à adubação e plantas melhoradas para a produção de etanol de 2º geração (Grange et al, 2013).

A transferência completa de genes de resistência/tolerância de uma cultura para plantas daninhas nunca foi registrada. Para que ocorra o movimento completo de um gene, vários retrocruzamentos são necessários e geralmente os híbridos entre a cultura e uma variante daninha da cultura são inviáveis ou inférteis. Porém, há uma preocupação quanto a transferência de genes entre culturas transgênicas e parentes silvestres, principalmente quando a cultura apresenta genes de tolerância a herbicidas e resistência a insetos (Dale et al. 2002). Assim, medidas legislativas de contingenciamento e restrição dos cultivos transgênicos são adotadas no Brasil e no mundo, para evitar o possível fluxo gênico.

Já o fluxo gênico entre a cultura transgênica e plantas não transgênicas da mesma espécie é muito mais provável do que cruzamentos com outras espécies. A contaminação em culturas não transgênicas pode causar perdas econômicas devido essas plantas não serem aceitas por alguns mercados. Nos Estados Unidos ocorreram casos de cruzamentos entre espécies de canola (transgênica e não transgênica), resultando em várias combinações em campos onde esperava-se encontrar apenas canola não transgênica (Hall, 2000).

Considera-se, no que diz respeito ao impacto ambiental das culturas tolerantes a herbicidas que o glyphosate e o glufosinate, que atualmente são os herbicidas mais utilizados nos cultivos transgênicos, são benéficos para o meio ambiente em vista dos herbicidas que estes substituem nos programas de manejo via controle químico.

## IMPACTO DA TECNOLOGIA RR NO MANEJO DE PLANTAS DANINHAS

A tecnologia RR representa uma possibilidade de utilizar um herbicida de mecanismo de ação diferente no controle de plantas daninhas resistentes aos herbicidas utilizados anteriormente, como os inibidores da ALS ou inibidores da ACCase e devido tal facilidade após a inserção da tecnologia RR no mercado, o manejo de plantas daninhas passou a utilizar um único produto, em substituição a cerca de 5 mecanismos de ação (Gazziero et al., 2007.; Shanner, 2000; Krenchinski et al., 2017; Albrecht et al, 2013).

Shanner (2000) demonstrou que após a introdução da tecnologia RR no mercado haveria o potencial efeito de mudança de espécies infestantes nas áreas agrícolas, devido ao grande potencial de adaptação das plantas daninhas. A seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes também foi a preocupação dos estudos após a liberação comercial da tecnologia, fato que se consolidou nas culturas tolerantes através da pressão de seleção, causado pelo uso intensivo do herbicida e por vezes indiscriminado, aumentando as dose de glyphosate aplicadas à cultura, visando o controle dessas espécies (Albrecht et al., 2014; Albrecht et al., 2013).

Atualmente no Brasil existem oito casos registrados de resistência ao glyphosate, além de novos casos de pesquisas vigentes. *Conyza sumatrensis*, *Conyza bonariensis*, *Conyza canadenses*, *Lolium multiflorum*, *Eleusine indica*, *Chloris elata*, *Digitaria insularis* e recentemente introduzido no Brasil o *Amaranthus palmeri* são espécies cuja resistência já foi identificada e relatada (Heap, 2019).

Devido ao alto custo na obtenção de moléculas e a descoberta de novos mecanismos de ação de herbicidas, os investimentos são destinados a biotecnologias, visando a introdução de genes de tolerância à herbicidas disponíveis no mercado, o que compromete os programas de manejo de plantas daninhas por diminuição no processo de rotação de mecanismos de ação (Shanner, 2000).

O manejo das plantas daninhas em cultivos transgênicos necessita de atenção especial na escolha dos produtos a serem utilizados. Quando presentes nas áreas de cultivo, as plantas voluntárias acarretam em perdas devido a efeitos sob a cultura (competição, produção de aleloquímicos, hospedeira de pragas e doenças além de prejudicar a qualidade final do produto em questão), sendo indispensável a realização do controle através da integração de métodos e rotação de mecanismos de ação, visando evitar novamente o cenário de seleção de várias espécies de plantas daninhas resistentes, como relatado anteriormente.

## TECNOLOGIAS TRANSGÊNICAS ATUAIS E PERSPECTIVAS



Novas tecnologias inseridas nos cultivos irão expandir as possibilidades de manejo das plantas daninhas tolerantes a herbicidas, aumentando o espectro de mecanismos de ação que poderão ser utilizados na pós emergência das culturas. Porém, estas tecnologias não deverão substituir a necessidade da descoberta de novas moléculas de mecanismo de ação alternativos aos existentes no mercado (Green; Owen, 2010).

Além das tecnologias RR e RR2, outras tolerâncias a herbicidas, não transgênicas, podem ser utilizadas, inclusive associadas ao RR. Um exemplo é a tecnologia STS, que confere à cultura da soja a tolerância aos herbicidas ALS do grupo químico das sulfoniluréias, porém, não se trata de uma planta transgênica. A característica de tolerância ao herbicida se dá devido a genes transmitidos por cruzamentos no melhoramento genético convencional, onde utilizou-se da mutagênese em sementes utilizando um agente alquilante (EMS) o qual não causa mutação por inserção de DNA e sim pela modificação da base nitrogenada Guanina, já existente na planta (Rogozin et al, 2001; Silva et al., 2018; Silva et al., 2019).

Outra tecnologia, agora transgênica, que apresenta tolerância a aplicação de herbicidas é a tecnologia Liberty Link<sup>®</sup> (LL), que confere tolerância ao glufosinate. Plantas contendo esta tecnologia já estavam disponíveis no mercado americano em 1995 e no Brasil a liberação comercial ocorreu em 2007 para o milho, 2008 para o algodão e em 2010 para soja (Albrecht et al., 2018b; CIB, 2018).

O gene *pat*, isolado de *Streptomyces viridochromogenes* codifica a enzima phosphinothricin-N-acetyltransferase, que inativa o glufosinate. Os dois genes são homólogos e estruturalmente iguais. As culturas com a tecnologia de transgênica para tolerância do glufosinate aprovadas pela CTNBio são: soja, milho e algodão. Recentemente foram aprovados eventos transgênicos com tolerância a múltiplos herbicidas, como a soja com tolerância a herbicidas auxínicos (2,4-D e dicamba), glyphosate e glufosinate e milho/algodão com tolerância ao glyphosate e ao glufosinate (CIB, 2018; Krenchinski, 2018).

Outra tecnologia geneticamente modificada é a Soja Cultivance<sup>®</sup>, na qual a introdução do gene *csr1-2* proveniente de *Arabidopsis thaliana* confere tolerância a herbicidas do grupo químico das Imidazolinonas: Imazapyr + Imazapic (Soyvance Pré<sup>®</sup>). Trata-se do primeiro evento transgênico completamente desenvolvido no Brasil. A tecnologia é tolerante a aplicação do herbicida em pré emergência e pós-inicial, desde o plantio até a fase de V1 da soja (EMBRAPA, 2016; BASF, 2015, Albrecht et al., 2018a).



Como forma de controlar as plantas daninhas resistentes ao glyphosate, combinação do glyphosate com 2,4-D ou Dicamba seriam necessárias para obtenção de controle satisfatório (Shanner, 2000).

Genes extraídos de bactérias de solo (*Ralstonia eutropha*) foram identificados com a capacidade de mineralizar o herbicida 2,4-D. A enzima TfdA catalisa a clivagem do 2,4-D em um composto que não apresenta atividade herbicida. Posteriormente, algumas sequência de genes foram identificados e extraídos de outras bactérias: *Sphingobium herbicidivorans* (RdpA) e *Delftia acidovorans* (SpdA). Genericamente estes genes são tratados como *aad-1* e *aad-12* respectivamente (Wright et al., 2010).

De fora inesperada, foi identificada gene *aad-1* com a capacidade de clivar alguns compostos do grupo aryloxyphenoxypropionato (AOPP) uma classe de graminicida, incluindo o cyhalofop, haloxyfop e o quizalofop. Estes herbicidas pertencem a um mecanismo de ação diferente das auxinas sintéticas, inibindo a síntese da enzima Acetil CoA Carboxilase (ACCase) (Wright et al., 2010).

No cassete de expressão gênica os genes *aad-1* e *aad-12* foram introduzidos via *Agrobacterium tumefaciens*, em *Arabidopsis* utilizando como marcador de seleção o gene *pat*. Após a regeneração do tecido aplicou-se glufosinate para selecionar as plantas transformadas. Em *Arabidopsis* não transformada a aplicação de 2,4-D (50g e. a. ha<sup>-1</sup>) causou injúrias severas. Em comparação, as plantas transformadas não exibiram sintomas de injúria tratadas com 2,4-D (3,2 kg e.a. ha<sup>-1</sup>), demonstrando alta seletividade do herbicida a estas plantas (Wright, et al. 2010).

Soja, milho e algodão foram transformados geneticamente pela introdução dos genes de tolerância ao 2,4-D. A tecnologia, denominada Enlist® confere tolerância ao glyphosate (gene *2mEPSPs*), ao glufosinate (gene *pat*), ao 2,4-D (genes *aad-1* e *aad-12*) e no caso do milho ao haloxyfop (gene *aad-1*) (Wright et al., 2010; Silva, 2019).

Outra tecnologia transgênica que vem sendo desenvolvida é a Soja Genuity Roundup Ready 2 Xtend®, a qual apresenta tolerância aos herbicidas glyphosate (cp4EPSPs) e ao dicamba, outro herbicida do grupo das auxinas sintéticas, devido a introdução do gene *dmo* proveniente da bactéria *Stenotrophomonas maltophilia* (ISAAA, 2018).

Aprovada pela CTNBio, a tecnologia Balance GT em soja é outra ferramenta utilizada para expandir as opções em manejo de plantas daninhas na cultura. Tal tecnologia confere tolerância ao herbicida Isoxaflutole através da introdução, via biobalística, do gene

*hppdPfw336*. Trata-se de uma nova opção de mecanismo de ação na soja, pois a tolerância ao herbicida, inibidor da *hppd*, permite aplicação do herbicida em pré emergência principalmente visando o controle de gramíneas (Smith et al., 2019).

As novas tecnologias transgênicas que vem sendo desenvolvidas tem como foco o controle de plantas daninhas resistentes ao glyphosate. Todos os eventos possuem aprovação comercial no Brasil, porém a sua comercialização depende da aprovação do evento pelos principais países importadores (ISAAA, 2018).

A tecnologia do RNA de interferência (RNAi) é uma novidade nas pesquisas de controle de plantas daninhas. Através do uso desta tecnologia é possível destruir ou inativar o RNA mensageiro para uma determinada proteína, de modo a “desligar” alguns genes, descontinuando a expressão gênica. O uso prático desta tecnologia no controle de plantas daninhas envolve a aplicação do herbicida (ex: glyphosate) em associação com o RNAi na reversão da resistência por meio do desligamento dos genes que controlam a expressão da enzima insensível à EPSPs, por exemplo (Rizzardi et al., 2018).

Uma outra ferramenta da engenharia genética, com potencial uso na agricultura, é a tecnologia CRISPR/Cas9. Identificado em regiões do DNA de bactérias trechos formando sequências palíndromas espaçadas entre si por sequências únicas (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats – CRISPR). São sequências idênticas ao DNA de vírus que atacam bactérias e funcionam como “etiqueta” para identificar os vírus invasores. As enzimas Cas (proteínas associadas à CRISPR) reconhecem a “etiqueta” e usam essa informação para localizar e clivar o DNA do vírus, impedindo sua ação nas bactérias (Yanagui, 2016). Trata-se de uma tecnologia promissora na área, porém ainda não é utilizada. Um dos possíveis usos é com objetivo de melhorar a eficiência das culturas para competir com plantas daninhas (Rizzardi et al., 2018), pois trata-se de uma técnica de edição gênica.

Já a técnica de transcriptoma pode ser utilizada identificando genes de expressão diferencial e estes genes podem ser isolados e inseridos em culturas por meio de transgenia. Na ciência das plantas daninhas é possível identificar os genes responsivos ao estresse devido a competição. A inserção de genes, como por exemplo um gene de oxidação de fosfíto provenientes de alguns microrganismos, pode trazer as culturas vantagem competitiva em relação as plantas daninhas, pois as plantas não conseguem utilizá-lo como fonte de fósforo, permitindo que os produtores realizem o manejo de plantas daninhas durante a fertilização (Rizzardi et al., 2018).

A tecnologia de tolerância a herbicidas em plantas está baseada praticamente em poucos genes. Até o momento os genes *cp4EPSPS*, que codifica a enzima 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintetase, tolerante ao glyphosate e o gene *pat*, que confere tolerância ao glufosinate são basicamente as únicas tecnologias disponíveis no mercado brasileiro. As novas tecnologias, já liberadas pelo CTNBio (mas ainda não presentes no mercado), assim como as promissoras biotecnologias em destaque, poderão revolucionar o manejo integrado de plantas daninhas. Mas, a inserção dessas tecnologias, não poderão dispensar as boas práticas agrícolas, para que problemas (como a seleção de biótipos resistentes) não se repitam.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido à dificuldade e ao alto custo para obtenção de novos herbicidas, principalmente de novos mecanismos de ação, a biotecnologia e as técnicas de engenharia genética terão grande impacto no desenvolvimento de culturas com tolerância a múltiplos herbicidas. Porém, juntamente com as alternativas de manejo das plantas daninhas, virá a dificuldade no manejo das plantas voluntárias.

### REFERÊNCIAS

ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P.; KRENCHINSKI, F. H.; PLACIDO, H. F.; LORENZETTI, J. B.; VICTORIA FILHO, R.; BARROSO, A. A. M. Behavior of RR soybeans subjected to different formulations and rates of glyphosate in the reproductive period. **Planta Daninha**, v.32, n.4, p.851-859, 2014.

ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; BIAZOTO, F. S.; PEREIRA, V. G. C.; MORENO, G.; LORENZETTI, J. B.; DANILUSSI, M. T. Y.; ARAUJO, G. V. Soja transgênica tolerante a imidazolinonas: passado, presente e futuro. **Journal of Agronomic Sciences**, v.7, p.24-32, 2018 (a).

ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; MUDNDT, T. T.; WAGNER, F. G.; BOTTCHER, A. A.; ARAUJO, G. V.; LORENZETTI, J. B.; DANILUSSI, M. T. Y. Soja transgênica LibertyLink® e o seu manejo. **Journal of Agronomic Sciences**, v.7, p.33-42, 2018 (b).

ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; VICTORIA FILHO, R. Soja RR e o Glyphosate. In: ALBRECHT, L. P.; MISSIO, R. F. **Manejo de cultivos transgênicos**. p. 25 a 45, 2013.

BASF. **BASF e Embrapa lançam Cultivance®**. (2015). (Online) Disponível em:< <https://www.basf.com/br/pt/company/news-and-media/news-releases/2015/08/20150825-R01.html>> Acessado em 20/07/2019.

CARPENTER, J.; FELSOT, A.; GOODE, T. HAMMIG, M.; ONSTAD, D.; SANKULA, S. Comparative environmental impacts of biotechnology-derived and traditional. Ames: soybean, corn and cotton crops. **Council for Agricultural Science and Technology**, 189 p. 2002.

CERDEIRA, A. L.; DUKE, S. O.; GAZZIERO, D. L.; MATALO, M. B.; BOLONHESI, D. Plantas transgênicas resistentes a herbicidas e interações com o meio ambiente. In: PIPOLO, V. C. **Culturas transgênicas: uma abordagem de benefícios e riscos**. p 155-171. 2009.

COELHO, A. L. **Quando foram desenvolvidos os primeiros transgênicos**. 2016. (Online). Disponível em: <<https://cib.org.br/faq/quando-foram-desenvolvidos-os-primeiros-transgenicos/>> Acessado em: 20/07/2019.

CIB - Conselho de Informações sobre Biotecnologia. **20 anos de transgênicos: benefícios ambientais, econômicos e sociais no Brasil**. Resumo executivo. (2018).

CULPEPPER, A. S.; YORK, A. C. Weed management in no-tillage bromoxynil-tolerant cotton (*Gossypium hirsutum*). **Weed technology**, v.11, n.2, p.335-345, 1997.

DALE, P. J.; CLARKE, B.; FONTES, E. M. Potential for the environmental impact of transgenic crops. **Nature biotechnology**, v.20, n.6, p.567, 2002.

DUKE, S. O. Herbicide-resistant crops. In: PIMENTEL, E. **Enciclopedia of pest management**. p. 358-360, 2002.

DUKE, S. O.; CERDEIRA, A.L. Potential environmental impacts of herbicide-resistant crops. In: **International centre for genetic engineering and biotechnology**. v.2, p. 67-143, 2005.

EMBRAPA. **Embrapa e BASF lançam cultivar de soja do Sistema Cultivance para o Cerrado**. 2016. (Online) Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/11333401/embrapa-e-basf-lancam-cultivar-de-soja-do-sistema-cultivance-para-o-cerrado>> Acessado em 20/07/2019.

FARIA, J. C.; ARAGÃO, F. J. L. **O Feijoeiro Geneticamente Modificado Resistente ao Mosaico Dourado**. Documentos, Embrapa. 2013.

GAZZIEIRO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; VOLL, E. Indicações para o uso de glyphosate em soja transgênica. Embrapa Soja - **Circular técnica 49**, Londrina – PR, 2007.

GRANGE, L.; ARANTES, O. M. N.; PATERA, A. C.; SILVA, A. L. K. Biotecnologia, Biossegurança e Bioética. In: ALBRECHT, L. P.; MISSIO, R. F. **Manejo de cultivos transgênicos**. p. 81-107, 2013.

GREEN, J. M.; OWEN, M. D. Herbicide-resistant crops: utilities and limitations for herbicide-resistant weed management. **Journal of agricultural and food chemistry**, v.59, n.11, p. 5819-5829, 2010.

HALL, L.; TOPINKA, K.; HUFFMAN, J.; DAVIS, L.; GOOD, A. Pollen flow between herbicide resistant *B. napus* volunteers. **Weed science**, v. 48, p. 89-93, 2000.

HANEY, R. L.; SENSEMAN, S. A.; HONS, F. M. Effect of Roundup Ultra on microbial activity and biomass from selected soils. **Journal of Environmental Quality**, v. 31, n.3, p. 730-735, 2002.

HANEY, R. L.; SENSEMAN, S. A.; HONS, F. M.; ZUBERER, D. A. Effect of glyphosate on soil microbial activity and biomass. **Weed Science**, v. 48, n.1, p. 89-93, (2000).

HEAP, I. **The International Survey of Herbicide Resistant Weeds**. 2019. (Online). Disponível em: < <http://www.weedscience.org/Summary/Species.aspx>> Acesso em: 20/07/2019.

ISAAA. **Situação Global dos Cultivos Transgênicos em 2017**. Resumo Executivo. 19p. (2018).

KRAMER, M. G.; REDENBAUGH, K. Commercialization of a tomato with an antisense polygalacturonase gene: The FLAVR SAVR™ tomato story. **Euphytica**, v.79, n.3, p. 293-297, 1994.

KRENCHINSKI, F. H. (2018). **Glufosinate e associações com herbicidas em tecnologias de milho com o gene fosfinotricina acetyltransferase**. 91 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu – São Paulo.

KRENCHINSKI, F. H., ALBRECHT, L. P., ALBRECHT, A. J. P., CESCO, V. J. S., RODRIGUES, D. M., PORTZ, R. L., ZOBIOLE, L. H. S. Glyphosate affects chlorophyll, photosynthesis and water use of four Intacta RR2 soybean cultivars. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 39, n. 63. 2017.

MISSIO, R. F.; GRANGE, L. Melhoramento genético e a transgenia. In: ALBRECHT, L. P.; MISSIO, R. F. **Manejo de cultivos transgênicos**. 2013, p. 108 – 139, 2013.

RIBEIRO, J. M.; PINTO, M. S. T.; D'ISEP, M. S. P.; OLIVEIRA, E. A. G. **Produção e análise de plantas transgênicas: conceitos e informações básicas**. Guaíba: Agrolivros, 80 p. 2012.

RIZZARDI, M. A., SCHNEIDER, T., NUNES, A. L., BIANCHI, M. A., BRAMMER, S. P., & ROCKENBACH, A. P. Biologia molecular aplicada à ciência das plantas daninhas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n.1, p. 12-24, 2018.

ROGOZIN, I.B.; BERIKOV, V.B.; VASUNINA, E.A.; SINITSINA, O. I. The effect of primary structure of DNA on induction of mutations by alkylating agents. **Russian Journal of Genetics**, v.37, p.704-710, 2001.

SANTARÉM, E. R. Métodos eficientes para a transformação genética de plantas. **Revista da Ciência & Tecnologia**, Piracicaba, SP, v.8, n.15, p.81-90, 2000.

SHANER, D.L. The impact of glyphosate – tolerant crops on the use of other herbicides and on resistance management. **Pest Management Science**. v.526, p.320-326, 2000.

SILVA, A. F. M.; ALBRECHT, A. J. P.; WILSON, D. V.; GIRALDELI, A. L.; PLACIDO, H. F.; ALBRECHT, L. P. Selectivity of nicosulfuron isolated or in tank mixture to glyphosate and sulfonylurea tolerant soybean. **Journal of Plant Protection Research**, v.58, n.2, p.152-60, 2018.

SILVA, A. F. M.; ALBRECHT, A. J. P.; SILVA, G. S.; KASHIVAQUI, E. S. F.; ALBRECHT, L. P.; VICTORIA FILHO, R. Rates of Nicosulfuron Applied in Glyphosate-Tolerant and Sulfonylurea-Tolerant Soybean. **Planta Daninha**, v.37, 2019.

SILVA, A. F. M. **Seletividade de herbicidas aplicados em pós-emergência da soja DAS44406-6 (Enlist E3™)**. 2019. 62p. Tese (Doutorado em Ciências) – USP/ESALQ- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2019.

SOARES-COSTA, A.; SCHNEIDER, V. K.; NAKAYAMA, D. G.; ARENCIBIA, A. D.; HENRIQUE-SILVA, F. Plantas transgênicas: fundamentos, métodos de produção e aplicações. In: **Biotecnologia Aplicada à Agro&Indústria** v.4, p. 649 -674. São Paulo: Blucher. 2017.

SMITH, A., SOLTANI, N., KAASTRA, A. J., HOOKER, D. C., ROBINSON, D. E., SIKKEMA, P. H. Annual weed management in isoxaflutole-resistant soybean using a two-pass weed control strategy. **Weed Technology**, v.33, n.3, p.1-15, 2019.

WRIGHT, T. R.; SHAN, G.; WALSH, T. A.; LIRA, J. M.; CUI, C.; SONG, P.; ZHUANG, M.; ARNOLD, N. L.; LIN, G.; YAU, K.; RUSSEL, S. M.; CICCHILLO, R. M.; PETERSON, M. A.; SIMPSON, D. M.; ZHOU, N.; PONSAMUEL, J.; ZHANG, Z. Robust crop resistance to broadleaf and grass herbicides provided by aryloxyalkanoate dioxygenase transgenes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.107, n.47, p. 20240-20245, 2010.

YANAGUI, K. Novas tecnologias, novos desafios. **Ciência e Cultura**, v.68, p.8-11, 2016.