

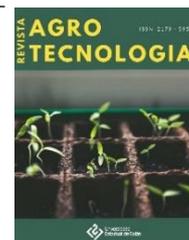
---

## ENGENHARIA GENÉTICA NA AGRICULTURA: MERCADO, BENEFÍCIOS, APROVAÇÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

### GENETIC ENGINEERING IN AGRICULTURE: MARKET, BENEFITS, APPROVALS AND FUTURE PERSPECTIVES

Fabício Rodrigues<sup>1</sup>

---



**Resumo:** Cultivados há mais de 25 anos, os transgênicos, também denominados de OGMs, conquistaram os agricultores no mundo e passaram a dominar as lavouras de soja, milho e algodão, com ritmo de expansão em vários países e rumo a novas tecnologias. Assim, a agricultura moderna está atrelada ao uso de transgênicos e que cada vez mais fortalece o mercado e impulsiona a economia, inclusive a nacional. O conhecimento sobre esta tecnologia é de grande interesse pela comunidade científica e acadêmica, assim, informações desde a liberação, leis, quais cultivares estão no mercado, quais tecnologias já estão disponíveis e o que o uso trouxe de vantagens e de incertezas, serão em partes esclarecidas nesta revisão. Dessa forma, tem-se o intuito de instruir sobre os transgênicos/OGMs e sua atual conjuntura, principalmente sobre sua adoção nos diferentes países, benefícios e as questões relacionadas à segurança social, ambiental e alimentar, além das mais recentes aprovações brasileiras, atrelando a sua importância para a agricultura e o que esperar para os próximos anos.

**PALAVRAS-CHAVE:** organismos geneticamente modificados, transgênicos, genes e segurança alimentar.

**Abstract:** Cultivated more than 25 years ago, transgenic, also called GMOs, have conquered farmers around the world and have come to dominate soybean, corn and cotton crops, with expansion in several countries and new technologies. Thus, modern agriculture is linked to the use of GMOs, which increasingly strengthens the market and boosts the economy, including the national one. Knowledge about this technology is of great interest to the scientific and academic community, so information since release, laws, which cultivars are on the market, which technologies are already available, and what use has brought advantages and uncertainties, will be in part clarified in this review. Thus, it aims to elucidate about GMOs and their current situation, especially about their adoption in different countries, benefits, and issues related to social, environmental and food safety, in addition to the latest Brazilian approvals, linking their importance for agriculture and what to expect for the next years.

**KEY-WORDS:** genetically modified organisms, transgenics, genes and food safety.

---

<sup>1</sup>Professor Doutor em Melhoramento Vegetal, UEG/Ipameri, GO, fabricio.rodrigues@ueg.br, Rodovia GO 330, Km 241, Anel Viário, Ipameri, GO.

---

Recebido em dezembro de 2019  
Aceito em fevereiro de 2020

## INTRODUÇÃO

As técnicas agrícolas são muito diversificadas, tanto ao longo do tempo quanto nas diferentes regiões do mundo, de forma a ser utilizada conforme a tradição ou a tecnologia disponível. Os progressos alcançados pela agricultura devido aos avanços científicos e tecnológicos, não têm precedentes na história da agricultura, com maior ênfase após a revolução verde. Entretanto, a agricultura moderna está baseada em desenvolvimentos científicos comprovados e, que ao mesmo tempo tem a capacidade de proteger o meio ambiente e, claro, que torne possível a sua utilização por gerações futuras.

A partir do conhecimento da estrutura do material genético DNA, a decifração do código genético, o conhecimento sobre a herança dos caracteres e, dos subsequentes desenvolvimentos da biotecnologia vegetal, a informação gerada foi cada vez maior e atualmente existe uma quantidade desmedida de dados genômicos e informações mais precisas sobre as características, desde as controladas por poucos genes (monogênicas) até as controladas por muito genes (poligênicas). Assim, o melhoramento vegetal passa a apresentar maior eficiência, rapidez e robustez no desenvolvimento de novos cultivares para o mercado e, fornecendo a cada ano, uma semente/planta de melhor qualidade e com maior eficiência de desenvolvimento.

Portanto, grande parte da evolução na agricultura se deve ao melhoramento de plantas, o qual sempre foi dependente da variabilidade já existente na espécie ou com

estrito grau de similaridade, para alcançar novos patamares, principalmente para a produtividade. Um dos maiores avanços tecnológicos registrados, durante esse período citado acima, foram os transgênicos. Tal avanço tecnológico faz com que a informação presente em um indivíduo possa ser expressa em outro, denominada de engenharia genética. Esta tecnologia amplia consideravelmente a variabilidade disponível para o melhorista, pois, possibilita utilizar a variabilidade existente em todos os seres vivos, não existindo barreiras.

Dessa forma, quando uma característica desejável não é encontrada no genoma da espécie de interesse e este gene responsável por essa característica, já foi identificado em outra espécie, existe a possibilidade deste gene ser transferido para a espécie a ser melhorada (PATERNIANI, 2001). Este autor acrescenta que isso só é possível porque o código genético é universal, de forma sucinta, o gene a ser transferido para o genoma, da outra espécie, vai determinar nessa espécie, a mesma característica que determinava na espécie doadora.

Transgênicos são organismos vivos, cujo material genético foi alterado por meio da engenharia genética, seja pela introdução de sequências de DNA exógenas, que podem ser originárias de qualquer outro organismo, inclusive de classificações biológicas diferentes, podendo ser filós ou reinos distintos, ou também, pela inativação de genes endógenos. Deve se deixar claro que o organismo geneticamente modificado (OGM), por sua vez, podem ser

transgênicos ou não. Isso decorre do fato de que se a espécie alvo for modificada geneticamente por um ou mais genes provenientes de um organismo da mesma espécie, este é considerado um organismo geneticamente modificado, porém não transgênico, conforme Guerrante (2003) e Galvani (2019). Segundo Nodari e Guerra (2001), do ponto de vista legal, os OGMs são organismos cujo material genético tenha sido modificado por qualquer técnica de engenharia genética, conforme Lei 8.974, de 05/01/95, assim qualquer planta que apresente sua(s) sequência(s) de DNA e RNA engenheiradas, devem ser consideradas OGMs, dessa forma, sinônimos.

Os OGMs são vistos como a solução de diversos problemas, entre os citados, os únicos capazes de alimentar a população que não para de crescer. E, os únicos capazes de elevar a segurança alimentar da população e do meio ambiente, assim, alguns pontos serão relatados com maiores detalhes. Dessa forma, esta revisão tem o intuito de instruir sobre os OGMs e sua atual conjuntura, principalmente sobre sua adoção nos diferentes países, benefícios e, as mais recentes aprovações brasileiras, atrelando a sua importância para a agricultura mundial e nacional.

## **ADOÇÃO DOS TRANSGÊNICOS NO BRASIL E NO MUNDO**

A adoção de transgênicos no Brasil é tão importante, que esta tecnologia já está na nossa alimentação diária, na mesa do consumidor a alguns anos, pois grande parte dos alimentos possuem em sua formulação

transgênicos. Ressalta-se que o óleo de soja, o qual a maioria das marcas produzem o óleo a partir de soja transgênica, já possuem a identificação feita nos rótulos dos produtos, sinalizados com um pequeno “T” em amarelo e sendo difícil encontrar uma marca na prateleira que não possua essa indicação.

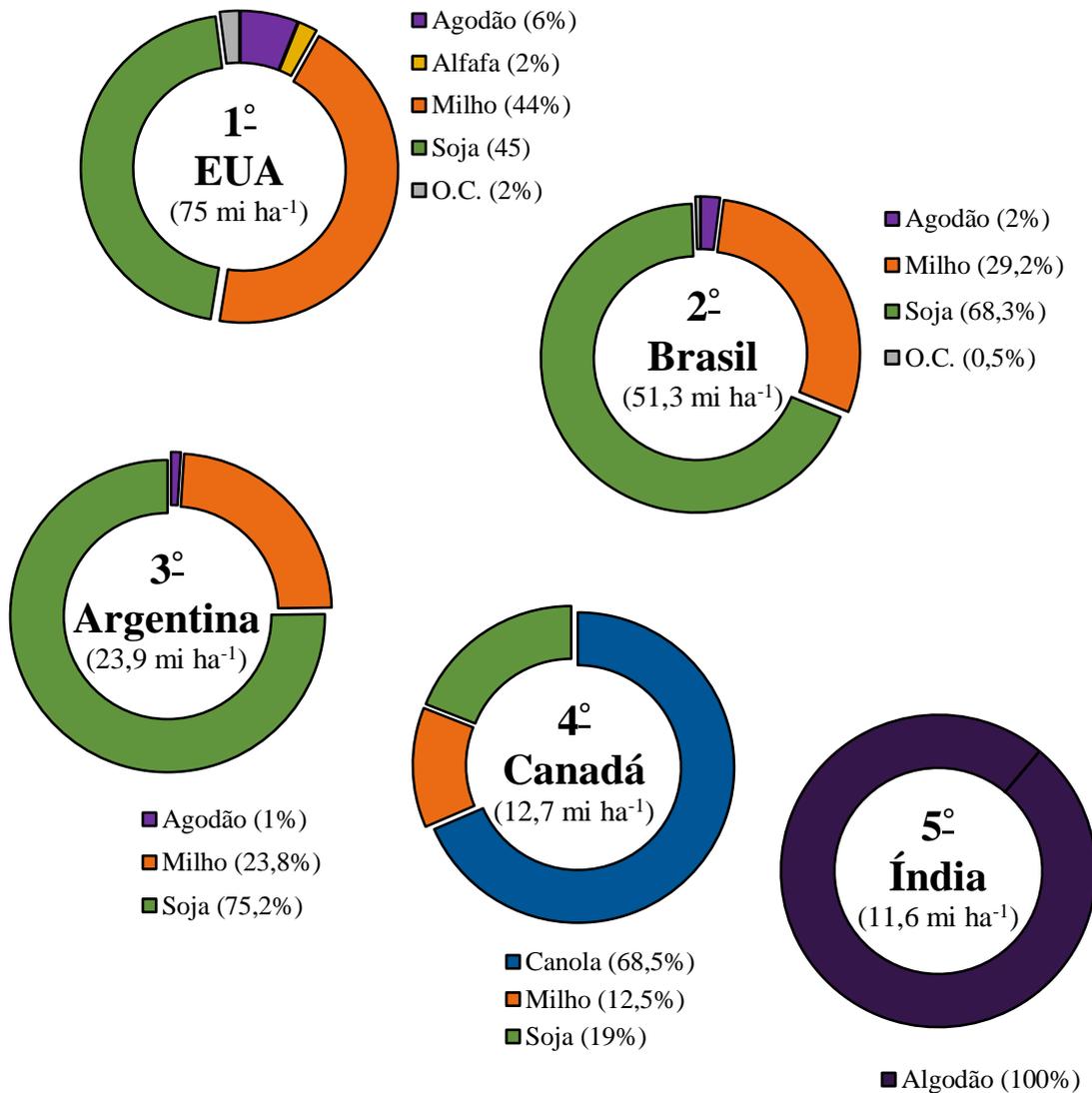
Isso se deve ao fato da enorme quantidade de alimentos transgênicos produzidos, os quais são responsáveis por grande parte do que é consumido nos principais países produtores. A área com cultivo de transgênicos no mundo é de 191,7 mi ha<sup>-1</sup>, os Estados Unidos estão em primeiro lugar em área plantada (75 mi ha<sup>-1</sup>), seguidos do Brasil (51,3 mi ha<sup>-1</sup>), Argentina (23,9 mi ha<sup>-1</sup>), Canadá (12,7 mi ha<sup>-1</sup>) e Índia (11,6 mi ha<sup>-1</sup>), conforme Figura 1.

Esses cinco países correspondem por aproximadamente 90% da área plantada com sementes transgênicas no mundo, o restante está dividido em 21 países, em todos os continentes, os quais são os responsáveis por ±16,5 milhões de hectares, o equivalente a 9,2% do total cultivado, conforme o Conselho de Informações sobre Biotecnologia – CIB (CIB, 2019a).

Os países que estão em desenvolvimento, como Índia, Brasil, México e Uruguai ampliaram a área plantada com essa tecnologia e, o aumento na adoção, neste caso, reflete a satisfação dos agricultores, por causa da maior proteção da lavoura e maior flexibilidade, devido a um manejo facilitado e menor número de aplicações a serem realizadas durante a safra (CIB, 2019b).

Os 51,3 milhões de hectares brasileiros, plantados com transgênicos, representam 26,7% do cultivo global e estão divididos em lavouras de soja, milho,

algodão, feijão, eucalipto e, também, cana-de-açúcar (Figura 2).



**Figura 1.** Área plantada com transgênicos no mundo, em milhões de hectares, no ano de 2018, discriminado por países/culturas, nos cinco principais países produtores, adaptado do Conselho de Informações sobre Biotecnologia (CIB, 2019b).

Esta novidade merece destaque, pois, a cana possui um gene que lhe confere resistência a insetos e representa uma solução tecnológica de admirável importância para o controle de uma das pragas mais devastadora da cultura, a broca-da-cana.

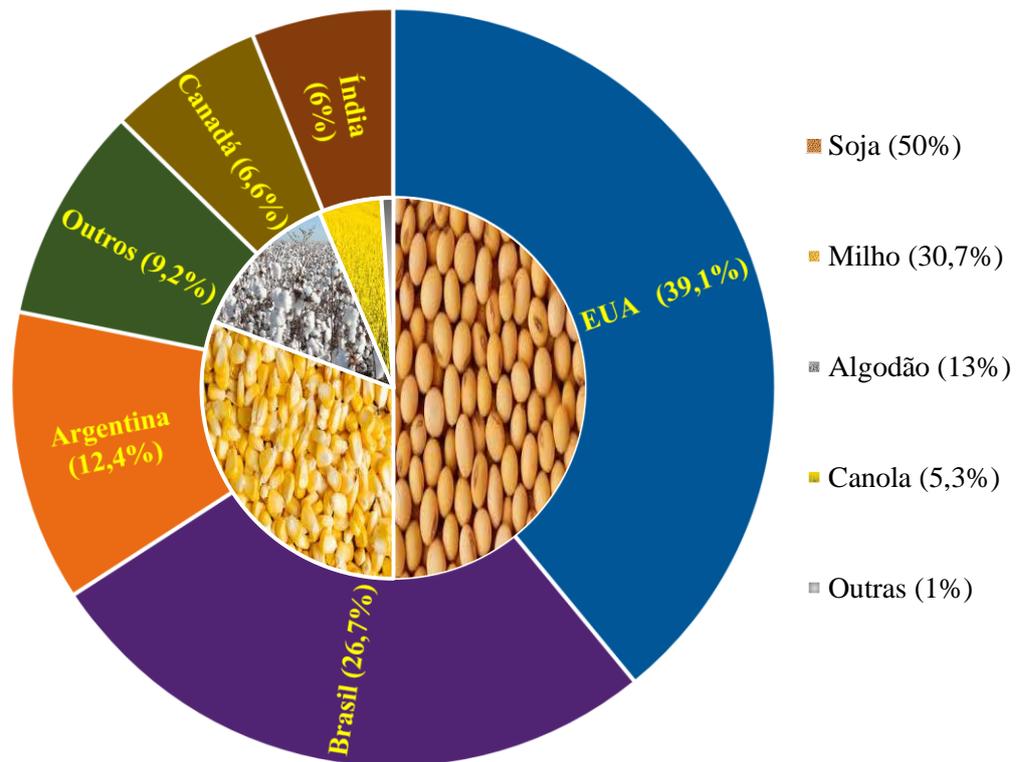
Atualmente, 96% da soja, 88% do milho e 78% do algodão, plantados no Brasil, são transgênicos, e são as três culturas que possuem participação fundamental no Produto Interno Bruto (PIB) e, claro, nas exportações brasileiras (CIB, 2019a). Ou seja, a engrenagem da economia brasileira é agricultura e, de maneira sinérgica, lavouras transgênicas são responsáveis pelos aumentos nos indicadores econômicos de forma direta e indireta no país, consideradas as engrenagens do sistema.

Um ponto marcante sobre o uso de novos transgênicos/OGM no Brasil, nos próximos anos, será a resolução Normativa Nº 16, de 15 de janeiro de 2018 (CTNBio, 2019d), que estabelece os requisitos técnicos para apresentação de novas consultas à CTNBio, sobre as Técnicas Inovadoras de Melhoramento de Precisão (TIMP), do inglês *Precision Breeding Innovation (PBI)* e que também englobam as denominadas Novas Tecnologias de Melhoramento, do inglês *New Breeding Technologies - NBTs*, à luz dos preceitos previstos na Lei nº 11.105, de 24 de março de 2005 (CTNBio, 2019e). Foram feitas modificações nos incisos III, IV e V do artigo 3, isso porque as novas tecnologias de engenharia genética não estariam dentro dessas condições e impossibilitando o estudo, o desenvolvimento e o futuro de produtos advindos dessas tecnologias.

TIMP abrange um conjunto de novas metodologias e abordagens que diferem da estratégia de engenharia genética por transgenia, por resultar na ausência de ADN(DNA)/ARN(RNA) recombinante no produto final.

Assim, as TIMP podem introduzir usos inovadores das ferramentas das biotecnológicas, que podem resultar em:

1. Na edição precisa de genomas, por indução de mutações específicas, gerando ou modificando alelos selvagens e/ou mutados sem inserção de transgene(s);
2. Em transformação genética e/ou controle de expressão gênica (ativação/inativação);
3. Em regulação epigenética da expressão de genes por mecanismos naturais sem haver modificação genética no indivíduo;
4. Em transformação genética e/ou controle de expressão gênica com genes de espécies sexualmente compatíveis;
5. Em transformação genética temporária e não herdável das células e tecidos;
6. Em infecção permanente ou não no hospedeiro, por meio de elementos virais transformados geneticamente;
7. Na criação de alelos com herança autônoma e potencial de recombinação, com possibilidade de alterar toda uma população (direcionamento gênico, do inglês, *gene drive*); e
8. Na construção de genes heterólogos ou novas cópias de genes homólogos.



**Figura 2.** Divisão da participação dos países e das culturas OGMs no mundo, adaptado do Conselho de Informações sobre Biotecnologia (CIB, 2019b).

Dessa forma, a CTNBio poderá determinar se o produto obtido por TIMP será ou não considerado um OGM e seus derivados (CTNBio, 2019d). Entre os exemplos citados, um seria o silenciamento e/ou super-expressão de genes relacionados ao florescimento, através da inserção da modificação genética e posterior segregação ou através da expressão temporária por vetor viral, com o intuito de tornar a planta capaz de florescer mais cedo. Outro exemplo interessante seria a inibição da recombinação meiótica, em plantas heterozigotas selecionadas, para a característica de interesse, a fim de produzir

linhagens parentais homozigotas, técnica denominada de melhoramento reverso.

Essa abordagem, de cada caso sendo avaliado de forma específica, tem sido o caminho adotado por diversos países do mundo, porque é tecnicamente rigorosa, mas não impõe barreiras desnecessárias à inovação. Além disso, acelera o uso de novas tecnologia avaliadas e comprovadas em outros países e com possibilidade de darem certo em solo nacional, não se restringindo as plantas, mas, a vacinas também e, claro, problemas graves locais, como a zika.

A tecnologia de direcionamento gênico poderia distorcer as leis da herança para difundir genes modificados, entre vastas populações dos organismos, dessa forma, seria usado para erradicar ou suprimir a população de mosquitos que está rapidamente proliferando o zika vírus pela América do Sul e preocupando outros países (CSS, 2019).

A tecnologia OGM já é comprovada e utilizada em diversos países, deve aumentar gradativamente e ser adotada em outros países, isso porque a exportação e importação de alguns países se torna restrita e eleva os valores dos produtos convencionais, o que pode afetar de maneira drástica a economia do país e reduzir a possibilidade de negociação, devido ao crescimento dos OGMs no mundo e sua maior aceitação com o tempo.

Até os conhecimentos atuais, não se pode ver de maneira simples a liberação segura de organismos direcionadores de genes ou que alteram os comportamentos da herança ou, também, que alterem a expressão gênica de forma específica. Ainda se deve avaliar os riscos de forma adequada e robusta, com o maior número de critérios possíveis. O ideal é cobrir todos os pontos e salvaguardar a biodiversidade, que foi e sempre será a variabilidade fundamental para a vida humana, animal e vegetal. Por enquanto, a palavra precaução deve ser o guia e, a palavra moderação deve ser a velocidade, em que a tecnologia tão ágil e potente, deve ser gerada e utilizada no futuro.

## **BENEFÍCIOS AO AGRICULTOR, AO CONSUMIDOR E AO MEIO AMBIENTE**

O primeiro questionamento que a população faz é “OGM/Transgênicos fazem mal a saúde?”. Segundo a nutricionista e doutora em Ciência dos Alimentos, Neuza Maria Brunoro Costa, os produtos engenheirados e destinados à alimentação humana passam por rigorosas avaliações e não foram constatados problemas de saúde relacionados com a ingestão destes alimentos até o momento, nos estudos que antecedem a liberação comercial e/ou o consumo (COSTA, 2019).

A Lei nº 11.105, citada anteriormente, estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização sobre a construção, o cultivo, a produção, a manipulação, o transporte, a transferência, a importação, a exportação, o armazenamento, a pesquisa, a comercialização, o consumo, a liberação no meio ambiente, inclusive do descarte dos OGMs (CTNBio, 2019d). Isso assegura maior controle e um produto de qualidade, devido aos testes realizados durante todo o processo de avaliação e experimentação, obrigatórios para estes casos. Além disso, são realizados relatórios (Pareceres Técnicos) sobre cada condição e verificada por especialistas de cada área, com o intuito de aumentar a acurácia da informação e formar uma análise mais fidedigna dos dados.

Entre os benefícios apresentados pela ABRASEM (Associação Brasileira de Sementes e Mudas) e, a empresa de consultoria Céleres, são 2,96 milhões de

toneladas de CO<sub>2</sub> que deixarão de ser emitidos na atmosfera, o que equivale uma economia de 1,11 bilhão de litros de combustíveis e, claro, ±127 mil toneladas de ingredientes ativos de defensivos que não foram usados nas safras brasileiras, por causa do uso de sementes transgênicas. Essa economia reflete no uso da água, ±134 bilhões que deixaram de ser usados, e em maior rentabilidade para o agricultor. Além dos benefícios socioambientais, com essa redução média, o agronegócio brasileiro deixará de gastar US\$ 80 bilhões até 2020, o equivalente atualmente, a ±336 bilhões de reais (CÈLERES, 2019).

Relatam também que a cada R\$ 1 que foi investido em biotecnologia na saca de sementes em 2011, em média, eram R\$ 2,61 obtidos de retorno adicional na produção do milho, R\$ 1,59 na soja e 3,59 para o algodão (CÈLERES, 2019). Assim, o agricultor tem maior rentabilidade e maior confiança nos transgênicos, além de melhorar a qualidade dos produtos colhidos, da lavoura ser mais resistente e com uma boa economia de água, devendo ser avaliado a longo prazo os benefícios futuros, visando demonstrar também para a população, tais benefícios.

Nicolia et al. (2014) realizaram um estudo sobre a segurança das culturas geneticamente modificadas em diferentes pesquisas, desde opiniões, revisões a estudos científicos, posteriormente, realizaram uma classificação de 1.783 registros científicos entre 2002 e 2012 e revelaram que nenhum risco significativo pode ser diretamente vinculado aos alimentos OGMs.

Os críticos e defensores dos OGMs concordam que alimentos geneticamente modificados não produziram nenhum efeito adverso à saúde e que o risco à saúde humana de alimentos contaminados com patógenos é muito maior nos convencionais, se comparada aos transgênicos. DeFrancesco (2013) relata que pesquisas feitas nos centros de controle de doenças dos EUA, descreveram que houve 128.000 casos de doenças, de origem alimentar que foram hospitalizadas e 3.000 mortes, entretanto, sem relação com alimentos transgênicos. Todavia, não foram estudados casos sobre os efeitos a longo prazo de sua ingestão, tanto humana quanto animal, falta de financiamento e, em parte, porque não há consenso sobre como realizar esses estudos e quanto tempo seriam realizados.

Bagherirad et al. (2018) descrevem que embora a agricultura orgânica apresente uma menor eficiência do que a agricultura tradicional, os valores nutricionais seriam mais elevados e sem resíduos de pesticidas. Por outro lado, a ocorrência de danos causados por pragas ou doenças no produto orgânico, pode desenvolver uma maior quantidade de fungos saprófitos, que causam o surgimento de micotoxinas tóxicas e cancerígenas. Portanto, para reduzir o impacto ambiental das práticas agrícolas, a combinação de métodos antigos e novos na agricultura, atrelados ao uso de tecnologias modernas, especialmente dos produtos transgênicos, poderá resolver grande parte dos problemas ambientais e alimentares no mundo.

Tyczewska et al. (2018) relataram que a agricultura intensiva praticada nas últimas décadas com apenas um objetivo, o de aumentar o rendimento, sem adesão aos princípios ecológicos ou científicos, fez com que ocorresse a erosão do solo, poluição, salinização, desertificação e o esgotamento dos recursos de água doce e, claro, da biodiversidade. E, para conseguir alimentar a população no futuro, um modelo mais sustentável deve ser praticado, combinando as lições históricas, com os benefícios da biotecnologia moderna.

## RECENTES APROVAÇÕES BRASILEIRAS

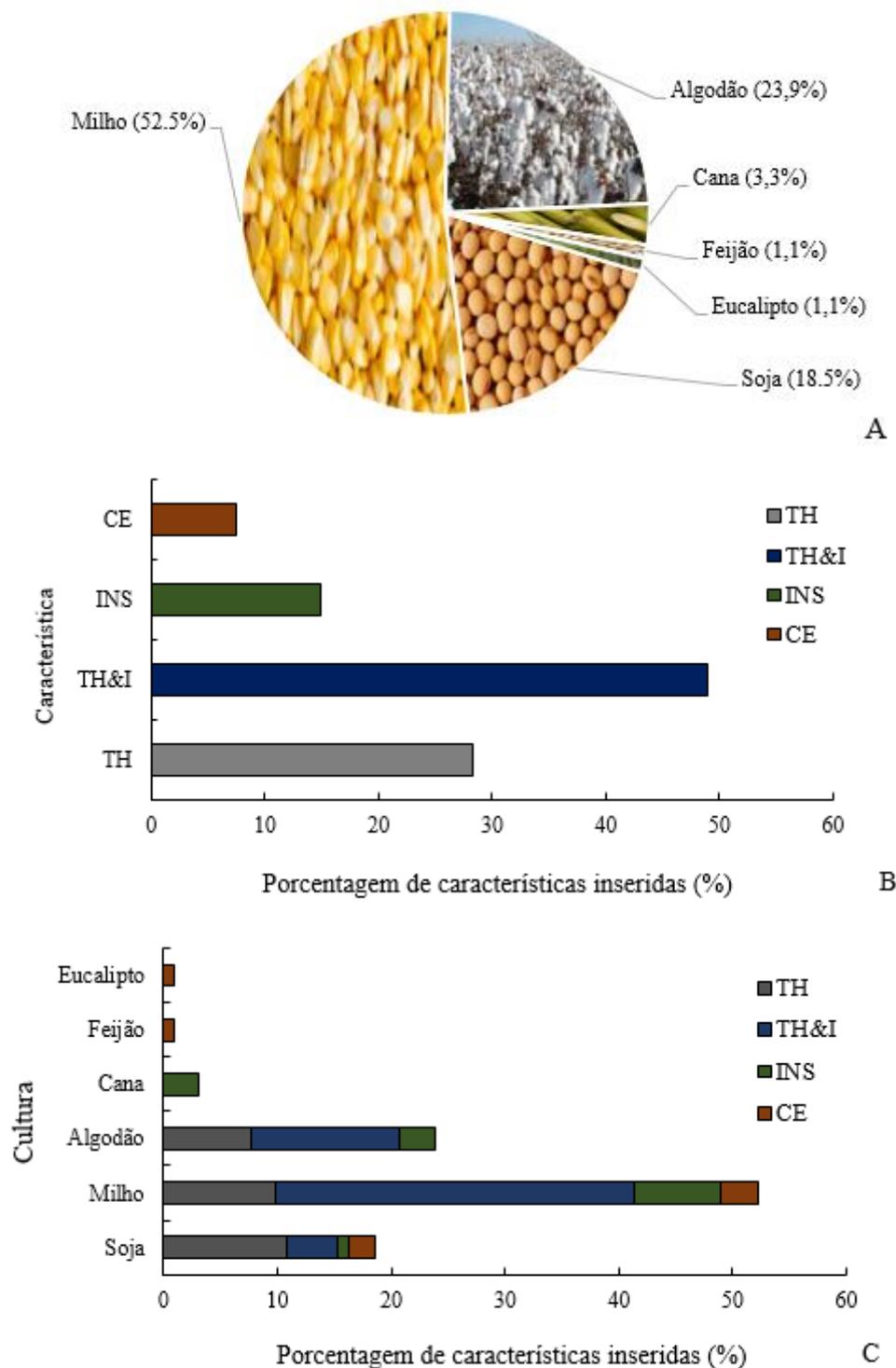
Observa-se que o número de processos aprovados no Brasil, em sua maioria, é conferido ao milho (52,5%), em segundo lugar se encontra o algodão (23,9%) e em terceiro lugar a soja (18,5%), conforme a Figura 3A. E, ressalta-se que a combinação das características tolerância a herbicida (TH) e resistência a insetos (INS), está 21% acima da TH, o qual ocupa o segundo lugar (Figura 3B). Quando se correlaciona as características e as culturas, de forma mais específica, a maior parte dos processos da soja é visando TH (11%), para o milho e algodão é a combinação da TH&INS, com valores de 31,5 e 13% (Figura 3C).

A soja HB4, a única aprovada em 2019, foi requerida pela empresa Tropical Melhoramento e Genética S/A (TMG), os quais contém três genes, o gene *HaHB4*, proveniente do girassol (*Helianthus annuus*) envolvido na tolerância a estresses, outro, o *bar* de *Streptomyces*

*hygroscopicus*, que confere resistência ao glufosinato de amônio e, um terceiro, o gene *CP4 EPSPS*, cuja proteína confere resistência a glifosato (CTNBio, 2019f). O que mais chama a atenção é *HaHB4*, gene naturalmente presente no girassol, sendo expresso em níveis muito baixos e ativados quando as plantas são submetidas a condições de estresse hídrico, salino, escuridão ou ataques de insetos. A proteína atua principalmente em resposta a estresses abióticos, principalmente em vias sinalizadas por etileno (CTNBio, 2019f).

Essa inovação corresponde a uma fatia dos 8% de tecnologias com características específicas, como aumento da termoestabilidade das amilases e tolerância a seca, ambas requeridas em 2016, para o milho e ainda pouco difundidas (Figura 3B). Na soja somente 2,2% do total de características inseridas até os dias atuais (Figura 3C), é divergente da condição resistência a insetos, tolerância a herbicidas e a combinação destas tecnologias, os quais são cada vez maiores o número de proteínas sendo expressas em um genótipo.

No caso do milho, foram aprovados apenas dois genótipos geneticamente modificados, um contendo quatro proteínas, a *CP4 EPSPS* e outras três inseticidas *Cry1A.105*, *Cry2Ab2* e *Vip3Aa*, sendo a requerente a Monsanto, sendo o milho gerado pelo cruzamento dos respectivos eventos individuais (MON 87427, MON 89034, MIR162 e NK603) através de melhoramento genético clássico. Já a requerida pela Dow AgroSciences possui oito proteínas, sendo *Cry1A.105*, *Cry2Ab2*, *Cry1F*, *Cry34Ab1*, *Cry35Ab1* que conferem



**Figura 3.** Processos aprovados de plantas geneticamente modificadas para a comercialização no Brasil, até o ano de 2019, por cultura (Figura A), por processos aprovados em função da característica (TH – tolerância a herbicida, TH&I - tolerância a herbicida e resistência a insetos, INS - resistência a insetos, CE – características específicas – Figura B) e por processos aprovados em função da cultura e da característica, baseado em CTNBio (2019f).

resistência a diferentes insetos e, além destas, a *CP4 EPSPS*, *ADD-1* que confere tolerância ao herbicida 2,4-D e a *PAT* que confere tolerância ao herbicida glufosinato de amônio (CTNBio, 2019f). Ressalta-se o elevado número de proteínas presentes em um só genótipo e, dessa forma, um OGM capaz de resistir a múltiplas adversidades, o que pode elevar o preço da semente.

O feijão GM desenvolvido pela Embrapa, apesar de ter sido requerido seu evento (Embrapa 5.1) em 2010 e, aprovado em 2011 (CTNBio, 2019f), só foi comercializado de fato em 2019 e chegará de fato a mesa do consumidor provavelmente em 2020. O desempenho produtivo e a qualidade comercial dos grãos de feijão são comprometidos pelo grande número de doenças presentes no país. O mosaico-dourado (*Bean golden mosaic virus* – BGMV), principal virose do feijão, no Brasil, tem seu agente causal um geminivírus. Este é transmitido pela mosca-branca (*Bemisia tabaci*), assim, a cultivar BRS FC401 RMD será a solução no controle efetivo desta doença (SOUZA et al., 2016). Essa resistência é conferida pelo transgene presente no evento, cuja presença é representada na denominação da cultivar pelo sufixo RMD (resistência ao mosaico-dourado). De forma simples, uma vez que o gene *rep*, que é essencial para a replicação do vírus está silenciado, isso leva à geração de plantas imunes e não apresenta sintomas visíveis nessa doença, nem redução da produtividade (SOUZA et al., 2016).

O eucalipto GM foi desenvolvido pela Futuragene e seu processo aprovado em 2015, o evento H421 presente no híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* expressa duas proteínas em todos os tecidos

da planta. A proteína Cell, cujo gene é proveniente de *Arabidopsis thaliana*, promove um crescimento mais rápido da planta e a proteína NPTII confere resistência a antibióticos aminoglicosilados (neomicina, canamicina, etc), importante para o processo seletivo dos que foram modificados (CTNBio, 2019f). Assim, o híbrido permitiria aumentar a produtividade, sem expandir a área, sem o ônus de novas terras e com possibilidade de outros usos, como visando a alimentação e não a produção de madeira. Além disso, também aumenta a captura de gás carbônico por área plantada, devido a velocidade de crescimento, com maiores benefícios a médio e longo prazo. Segundo os pesquisadores, o eucalipto transgênico cresce mais e gera 20% a mais de madeira, que árvores similares no mesmo período de tempo.

A tecnologia gerada para a cana-de-açúcar vem em requerimentos sequenciais, 2017, 2018 e 2019, com foco nas resistências a insetos e requeridos pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). O primeiro foi obtido por bombardeamento de células embriogênicas (calos), dos primórdios foliares de cana-de-açúcar na cultivar CTC20. Por meio de microprojéteis contendo o fragmento de DNA CTC2.nptII purificado, do vetor pGH-CTC2.nptII, neste caso, contendo os genes *cryIAb* e *nptII*, conferindo à cana resistência a insetos (CNTBio, 2019f). Em 2019, o evento CTC93209-4 foi inserido, com o objetivo de controlar a broca (*Diatraea saccharalis*), a principal praga da cultura e responsável por perdas da ordem de mais de R\$ 5 bilhões por ano (CNTBio, 2019f).

## PERSPECTIVAS FUTURAS

A trajetória dos OGMs no mundo é de ascensão contínua, com geração de novas tecnologias ao agricultor e a sociedade, apesar de sua eterna polêmica e do receio de alguns pesquisadores e, ainda maior da população, os alimentos modificados estão cada vez inseridos na mesa do consumidor. Já na década de 90, tornaram-se uma ferramenta importante a ser adotada no campo, hoje são responsáveis por fomentar a economia mundial e grande parte da brasileira, por meio da geração de empregos e aumento da produtividade de grãos, fibras e proteínas, de forma direta ou indireta.

Outro fato que deve ser esclarecido é que até o momento não existem genes específicos para o aumento da produtividade, ou seja, pesquisas relatam sobre sua possibilidade de uso e possível desenvolvimento, entretanto, até o momento são estudos e que, em parte, explicam o aumento do potencial genético das espécies.

Segundo Molinari (2019), um novo transgênico custa, em média, US\$ 136 milhões, deste total, cerca de 51% são usados para o desenvolvimento do produto, 23% na descoberta do gene e os 26% restantes investidos em testes de biossegurança e no processo de aprovação, gastos em 13,1 anos. Assim, a biotecnologia agrícola uma atividade de alto risco, afinal um número pequeno de empresas tem capital suficiente para investir quantias dessa magnitude e esperar mais de dez anos para o retorno, detalhe, se tudo der certo. Entretanto, o que se espera é um mercado

cada vez maior e competitivo, com um maior número de OGMs sendo lançados a cada ano e passando a ser desenvolvido em outras culturas de importância, possivelmente, após as TIMP.

Com essa condição a geração de novos OGMs fica quase que restrita as multinacionais e, ao esforço de pesquisas conduzidas pela Embrapa e centros de pesquisas, como o CTC, o que aumenta a confiança nos alimentos geneticamente modificados. Isso porque diminui a dependência química dos agrotóxicos e, após a colheita, um ambiente de cultivo mais apto e mais propício para a outra safra. A adoção da biotecnologia já ultrapassa os 20 anos e fez com que o país se tornasse uma das principais potências agrícolas do mundo, nesse tempo, o Brasil firmou sua posição como exportador e importantes *player* no cenário global de produção de alimentos, o que alavanca o mercado de geração de sementes.

O que infelizmente ainda assusta é que a maior parte da população não tem noção do que é um transgênico/OGM e isso dificulta a aceitação pública. Possivelmente por não se preocupar com o que está se alimentando ou com a quantidade dos valores nutricionais ou com os ingredientes presentes nos alimentos. Por mais que os resultados possam ser esclarecedores ou que demonstrem sua eficácia na diminuição de agrotóxicos, o medo persiste.

Entretanto, sou a favor do pensamento que a escolha ainda é pessoal e que vejo mais benefícios e vantagens atualmente, pois os valores elevados da redução da aplicação, de 4 a 5 pulverizações

para o controle de pragas, como de lagartas no milho, para sem aplicação, fazem jus a tecnologia. Pesquisadores ao redor do mundo são sempre enfáticos quando dizem, “devemos estudar mais o efeito a longo prazo”. Como alertado anteriormente, como seriam realizadas essas pesquisas? O que pode ser feito após o lançamento como medida de controle? Estudos de antes da adoção em fazendas específicas atrelados após a adoção, neste caso, seriam mais esclarecedores e diligentes, com o objetivo de demonstrar sua eficiência para o segurança ambiental e, para a alimentar, não há consenso em como ou quando seriam realizados.

## REFERÊNCIAS

- BAGHERIRAD, E. et al. The comparison of Organic, conventional and transgenic agricultural production. **Genetic Engineering and Biosafety Journal**, v. 7, n. 1, p. 103-114, 2018.
- CÉLERES. Benefícios socioambientais da biotecnologia nas lavouras brasileiras. Disponível em: <http://www.celeres.com.br/docs/Celeres-beneficios-sociambientais-pq.pdf>. Acesso em 18 novembro 2019.
- CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA (CIB). Transgênicos contribuem para sustentabilidade da agricultura brasileira, revela estudo. Disponível em: <https://cib.org.br/isaaa-2019//>. Acesso em 04 novembro 2019a.
- CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA (CIB). Top 5: área cultivada com transgênicos no mundo. Disponível em: <https://cib.org.br/top-5-area-cultivada-com-transgenicos-no-mundo//>. Acesso em 04 novembro 2019b.
- CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA (CIB). Biotecnologia. 20 anos de transgênicos no Brasil. Disponível em: <https://cib.org.br/20-anos-de-transgenicos-no-brasil/>. Acesso em 04 novembro 2019c.
- CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA (CIB). Resolução Normativa N° 16, de 15 de janeiro de 2018. Disponível em: [http://ctnbio.mcti.gov.br/resolucoes-normativas/-/asset\\_publisher/OgW431Rs9dQ6/content/resolucao-normativa-n%C2%BA-16-de-15-de-janeiro-de-2018](http://ctnbio.mcti.gov.br/resolucoes-normativas/-/asset_publisher/OgW431Rs9dQ6/content/resolucao-normativa-n%C2%BA-16-de-15-de-janeiro-de-2018). Acesso em 10 novembro 2019d.
- CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA (CIB). Lei n. 11.105 de 24/03/2005. Disponível em: [http://ctnbio.mcti.gov.br/leis/-/asset\\_publisher/NT53w3Yb7zpx/content/lei-n-11-105-de-24-03-2005?redirect=http%3A%2F%2Fctnbio.mcti.gov.br%2Fleis%3Fp\\_p\\_id%3D101\\_INSTANCE\\_NT53w3Yb7zpx%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3Dcolumn-2%26p\\_p\\_col\\_count%3D1/](http://ctnbio.mcti.gov.br/leis/-/asset_publisher/NT53w3Yb7zpx/content/lei-n-11-105-de-24-03-2005?redirect=http%3A%2F%2Fctnbio.mcti.gov.br%2Fleis%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_NT53w3Yb7zpx%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_count%3D1/). Acesso em 10 novembro 2019e.
- CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA (CIB). Liberação Comercial. Disponível em:

- <http://ctnbio.mcti.gov.br/liberacao-comercial#/liberacao-comercial/consultar-processo>. Acesso em 18 novembro 2019f.
- COSTA, N. M. B. Os transgênicos causam algum tipo de prejuízo à saúde humana e animal? Disponível em: <https://cib.org.br/faq/os-transgenicos-causam-um-tipo-de-prejuizo-a-saude-humana-e-animal/>. Acesso em 18 novembro 2019.
- CRITICAL SCIENTISTS SWITZERLAND (CSS). Gene drives: A report on their science, applications, social aspects, ethics and regulations. Disponível em: <http://www.db.zs-intern.de/uploads/1558973988-Gene%20Drives%20Report.pdf>. Acesso em 18 novembro 2019.
- DEFRANCESCO, L. How safe does transgenic food need to be? **Nature Biotechnology**, v. 31, n. 9, p. 794-802, 2013.
- GALVANI, M. S. Patenteabilidade dos organismos geneticamente modificados (OGMs). *Holos Environment*, v. 19, n. 2, p. 243-272, 2019.
- GUERRANTE, R. S. **Transgênicos: uma visão estratégica**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
- MOLINARI, H. **Transgênicos orgulhosamente brasileiros**. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/viewFile/77454/74224>. Acesso em 10 dezembro 2019.
- NEPOMUCENO, A. Próxima fronteira tecnológica da agricultura. CIB – Conselho de Informações em Biotecnologia. Disponível em: <http://cib.org.br/estudos-e-artigos/proximafrenteira-tecnologica-da-agricultura/>. Acesso em 20 de janeiro de 2019.
- NICOLIA, A. et al. An overview of the last 10 years of genetically engineered crop safety research. **Critical reviews in biotechnology**, v. 34, n. 1, p. 77-88, 2014.
- NODARI, R. O., & GUERRA, M. P. Avaliação de riscos ambientais de plantas transgênicas. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 18, n. 1, p. 81-116, 2001.
- PATERNIANI, E. Agricultura sustentável nos trópicos. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 15, n. 43, p. 303-326, 2001.
- SCHINDELE, A.; DORN, A.; PUCHTA, H. CRISPR/Cas brings plant biology and breeding into the fast lane. **Current opinion in biotechnology**, v. 61, p. 7-14, 2020.
- SOUZA, T. L. P. O. et al. BRS FC401 RMD: Cultivar de Feijão Carioca Geneticamente Modificada com Resistência ao Mosaico-dourado. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/149329/1/CNPAF-2016-ct235.pdf>. Acesso em 25 novembro 2019.
- TYCZEWSKA, A. et al. Towards food security: current state and future prospects of agrobiotechnology.

**Trends in biotechnology**, v. 36, n. 12,  
p. 1219-1229, 2018.