

A Revolução Biotecnológica e os Reflexos da Modernização Agrícola

The Biotechnological Revolution and the Repercussions of Agricultural Modernization

Jéssyca Ketterine Carvalho^{*a}; Andressa Alves Silva Panatta^b

^aUniversidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia e Tecnologia Ambiental. PR, Brasil.

^bUniversidade Federal da Integração Latino-Americana, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia e Sustentabilidade. PR, Brasil.

*E-mail: jessycakarvalho@gmail.com

Resumo

Com a modernização da agricultura, diversos danos foram causados pelo uso excessivo de agroquímicos e a monocultura (cultivo de uma única cultura). A biotecnologia, no decorrer do seu processo evolutivo, vem contribuindo em vários aspectos para remediar os reflexos negativos causados ao longo dos anos pela evolução agrícola, utilizando técnicas da engenharia genética. Com isso, este estudo teve como foco analisar a viabilidade da aplicação biotecnológica na agricultura, bem como seus reflexos positivos e negativos, tanto no âmbito ambiental, econômico e social. A metodologia utilizada foi de cunho qualitativo, com objetivo exploratório, por meio de revisão bibliográfica. A velocidade com que a modernização agrícola evoluiu é surpreendente, porém em função de alto nível de exploração ocorre um agravamento em questões ambientais, sociais e econômicas que merecem destaque e cautela. A biotecnologia utiliza novas técnicas com capacidades de auxiliar no rendimento e qualidade na agricultura, por meio de plantas geneticamente modificadas, controladores biológicos de pragas agrícolas, aumento nutricional dos alimentos, entre outros, desenvolvendo assim uma agricultura sustentável, visando qualidade de vida e bem-estar da sociedade e preservando o meio ambiente. Porém, essas práticas também apresentam reflexos negativos, que necessitam de cautela e remediação para tornar uma técnica mais promissora e aproveitável.

Palavras-chave: Revolução Verde. Modernização Agrícola. Engenharia Genética, Meio Ambiente.

Abstract

With the agriculture modernization, several damages were caused by the excessive use of agrochemicals and monoculture (cultivation of a single crop). The biotechnology in course of its evolutionary process has contributed in several aspects to remedy the negative reflexes caused throughout the years by agricultural evolution, using genetic engineering techniques. Thus, this study focused on analyzing the feasibility of biotechnology application in agriculture as well as its positive and negative effects in the environmental, economic and social spheres. The methodology was qualitative, with an exploratory objective, by means of a bibliographical review. The speed that agricultural modernization evolves is surprising, however, due to the high level of exploitation there is a worsening in environmental, social and economic issues that deserve highlighting and caution. Biotechnology uses new techniques with capabilities to assist in yield and quality in agriculture through genetically modified plants, biological control of agricultural pests, and nutritional food increase, among others, thus developing a sustainable agriculture, aiming at the society quality of life and welfare and preserving the environment. However, this practice also presents negative reflexes that need caution and remediation to make a more promising and usable technique.

Keywords: Green Revolution,. Agricultural Modernization. Genetic Engineering. Environment.

1 Introdução

Com o surgimento da Revolução Verde (1960-2000), as questões de segurança alimentar aumentaram, de maneira exponencial, assim como a produção e distribuição de alimentos em um âmbito global (PINGALI, 2012). Diante disso, o setor agrícola que está em ascensão e aprimorando suas técnicas, visando aumento de produtividade e lucro, contribui para um cenário de desenvolvimento contínuo, espera-se que até o ano de 2050 a agricultura aumente sua produtividade em até 50% para suprir a demanda populacional (ARMANDA *et al.*, 2019).

No entanto, esse aumento da exploração desenfreada dos recursos naturais para suprir a demanda por alimentos resultou em efeitos negativos no solo, na água, e ar, afetando

assim a saúde de forma coletiva (MEDAETS *et al.*, 2020). Assim, a aplicação de tecnologias modernas adotam técnicas que priorizam a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente e asseguram a competitividade no agronegócio, reduzindo os custos e elevando a produtividade (GOMES; BORÉM 2015).

Com os avanços das tecnologias modernas, em especial da biotecnologia, a utilização de técnicas para o melhoramento em diversos setores vem crescendo e aprimorando com o passar do tempo (ABDEL-AZIZ, *et al.*, 2018). A biotecnologia mesmo sendo um termo novo, sua prática é antiga. Há relatos do uso de micro-organismos para a fermentação na fabricação de produtos como pão, iogurte, queijo, cerveja e vinho há milhares de anos. Essas técnicas

primitivas de biotecnologia também incluem controle de plantas (cruzamento), domesticação de animais e de obtenção de seus produtos (BATHIA, 2018).

Por fim, a partir do século XX, o termo biotecnologia começou a ser usado, englobando desde técnicas simples como a fermentação de pães e vinhos até técnicas mais complexas como análise de DNA e engenharia genética, técnicas estas que definem a biotecnologia moderna (VIEIRA *et al.*, 2010). A biotecnologia moderna possibilita várias aplicações técnicas e práticas na pesquisa, acarretando o desenvolvimento agropecuário (FALEIRO *et al.*, 2011).

Diante desse contexto, e com a modernização agrícola e as técnicas biotecnológicas aplicadas, o presente trabalho teve como foco analisar a viabilidade da aplicação biotecnológica na agricultura, bem como seus reflexos positivos e negativos, tanto no âmbito ambiental, econômico e social.

2 Desenvolvimento

2.1 Metodologia

O presente trabalho teve natureza qualitativa, o que facilitou descrever a complexidade das hipóteses e a compreensão e a formação de opinião acerca do assunto. Assim, as pesquisas que se utilizam da abordagem qualitativa possuem a facilidade de descrever hipótese e problemas complexos e analisar as interações das variáveis.

Esta pesquisa teve objetivo exploratório que, segundo Gil (1999), permite ao investigador “a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente”. Esta vantagem se torna, particularmente, importante quando o problema de pesquisa requer dados muito dispersos pelo espaço.

O meio bibliográfico sobressaiu como o mais indicado para a elaboração deste trabalho, utilizando de pesquisas teóricas, haja vista as dificuldades para utilização de pesquisas de outros cunhos. Em outras palavras, a pesquisa bibliográfica foi realizada por meio de consultas a publicações de livros, de teses, de informativos online, de boletins e artigos científicos. Foram utilizados sites de busca acadêmica como: *Google Scholar*, *Mendeley*, *Sciencedirect* e *Web of Science*. As palavras-chave para a busca de artigos científicos foram: Biotecnologia; Agricultura Moderna; Manipulação Gênica; Desenvolvimento da Agricultura, foram utilizados artigos em inglês e português em um período de 1999 a 2020, priorizando artigos dos últimos cinco anos.

2.2 Aspectos Históricos da Biotecnologia

A biotecnologia já era utilizada antes mesmo de Cristo para alguns produtos fermentados como pães e algumas bebidas, porém não se sabia certo como funcionava, muitas vezes, atribuindo os resultados como presente divino. O processo fermentativo foi descrito, pela primeira vez, em XIX, por Louis Pasteur, visto que o mesmo demonstrou como funciona a teoria, contribuindo assim para o conhecimento científico

(BHATIA, 2018).

Entretanto, foi a partir do ano de 1953 que a biotecnologia começou a se desenvolver através de eventos importantes como a descoberta da estrutura helicoidal do DNA, pelos pesquisadores James Watson e Francis Crick, dando início ao marco da genética (DANYLOVA; KOMISARENKO, 2020), 20 anos depois, na década de 1970 iniciou a Era da Engenharia Genética com a primeira transformação gênica de sucesso realizada pelos pesquisadores Hebert Boyer e Stanley Cohen (ROCK; SCHURMAN, 2020).

Em 1980 foi possível o desenvolvimento de grandes quantidades de plantas transgênicas e a produção de insulina humana por bactérias. Em 1994, o primeiro alimento geneticamente modificado (tomate Flavr Savr) foi liberado para consumo, mas o destaque ocorreu no ano de 1997, com a clonagem da ovelha Dolly, primeiro mamífero a obter sucesso de clonagem, a partir de uma célula adulta (FALEIRO *et al.*, 2011). Ao decorrer dos anos, a biotecnologia passou por vários processos históricos importantes para auxiliar em seu desenvolvimento e se aprimorar como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Eventos de destaque da biotecnologia ao decorrer dos anos

Ano	Evento
1953	Descoberta do DNA por James Watson e Francis Crick
1982	Comercialização da insulina humana geneticamente modificada
1983	Aprovação das patentes de sementes geneticamente modificadas
1984	Vírus HIV é clonado e sequenciado
1985	Testagem de plantas transgênicas resistentes a pragas e doenças
1994	Aprovação do primeiro produto geneticamente modificado (tomate Flavr Savr);
1997	Ocorrência da primeira clonagem de um mamífero (ovelha Dolly)
1998	O mundo chega a 40 milhões de hectares de planta de culturas geneticamente modificadas
2000	Criação de variedade de arroz geneticamente modificado, precursora de vitamina A
2008	Liberação comercial no Brasil da soja geneticamente modificado resistente a herbicida e do algodão resistente a insetos

Fonte: Bhatia (2018).

Após essa revolução, a biotecnologia pode ser dividida em áreas como: vermelha, verde, azul e branca. A biotecnologia vermelha (biotecnologia médica) inclui procedimentos usados para fabricação de novos medicamentos ou o emprego de células-troncos; a biotecnologia verde se aplica a agricultura, desenvolvendo culturas resistentes a pragas e animais resistentes a doenças; biotecnologia azul abrange ambientes marinhos e aquáticos; biotecnologia branca (ou cinza) compreende os processos industriais e desenvolvimento de novos combustíveis (BHATIA, 2018).

A biotecnologia agrícola exige vasto conhecimento científico e tecnológico, pois, além do rendimento econômico pelo simples cultivo, é possível expandir os lucros em função

do promissor mercado da manipulação genética; em que a utilização de organismos, geneticamente modificados, resulta em um atraente retorno financeiro (MOEEN; AGARWAL 2017).

Desde então, a comercialização desses organismos geneticamente modificados trouxe maior produtividade para a planta, além de resistência às doenças ocasionadas por pragas e, também, por intemperes climáticas. Com isso, ocorreu um aumento de empresas especializadas no setor de biotecnologia vegetal como as notáveis: Calgene, DNA Plant Technology e Mycogen (SOHN, 2020).

2.3 Aplicação da Biotecnologia na Agricultura

A Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) desenvolve pesquisas biotecnológicas há mais de 30 anos, objetivando modificar as produções agropecuárias, utilizando de tecnologias como diagnósticos específicos e sensíveis de patologias, vacinas, clonagem, melhoramento genético, plantas transgênicas e biopesticidas, contribuindo para uma agricultura saudável e produtiva, visando o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010). Entre as técnicas inovadoras, que visam o melhoramento e a sustentabilidade na agricultura se pode enfatizar:

a) O controle biológico de pragas e doenças utiliza predadores naturais para controlar os insetos transmissores de doenças (VARSHNEY *et al.*, 2020). Esse controle pode ser feito através de genética microbiana, insetos predadores e parasitoides específicos para controlar determinadas pragas, sendo uma alternativa ao controle químico, com grande importância pela redução dos impactos negativos ao meio ambiente e a saúde humana já que o risco de contágio é mínimo (RAYMAEKERS *et al.*, 2020). Diante do exposto, a utilização de controle biológico pode ser vista como uma forma menos agressiva no ponto de vista ambiental, pois utiliza inimigos naturais para controlar pragas agrícolas, reduzindo com isso os efeitos adversos dos defensivos químicos (DAS CHAGAS *et al.*, 2016).

b) A cultura de tecidos também chamada de micropropagação consiste em uma técnica de cultivo de segmentos de plantas *in vitro* sob adequadas condições de nutrição e fatores ambientais como: luz, temperatura, O_2 e CO_2 e possuem várias aplicações práticas, trazendo benefícios para o melhoramento genético na agricultura, destacando o aumento da variabilidade genética, clonagem vegetal, seleção dos genes de interesse e produção de mudas de qualidade (MIKOVSKI *et al.*, 2019). Por meio da técnica de micropropagação se torna possível a produção em larga escala pela multiplicação de espécies (MUDOI *et al.*, 2013; SINGH *et al.*, 2013), em que a muda é obtida a partir de fragmentos (tecidos ou órgãos) da planta doadora. Assim, com a utilização dessa técnica, há possibilidade de manter a identidade genética da planta propagada intacta (SINGH *et al.*, 2013).

c) As plantas denominadas transgênicas são originadas de organismos geneticamente modificados (OGM), sendo estas

resultado de modificações genéticas e suas transferências entre as espécies (DE ALMEIDA XAVIER *et al.*, 2018). As principais culturas transgênicas são a soja, o milho e o algodão, porém diversos países além de investirem no melhoramento dessas espécies, também investem em pesquisas relacionadas às descobertas de novas variedades (DE OLIVEIRA; DE CAMARGO, 2018).

As vantagens do uso dessas culturas são a resistência aos herbicidas e insetos, diminuindo assim a utilização de agroquímicos (PANDEY; PRIYSDARSHINI, 2018). As técnicas de biotecnologia vegetal contribuem, de forma significativa, na agricultura moderna, revolucionando a área da ciência voltada às plantas, melhorando com isso a produtividade nas safras (KIM; ALI, 2019).

Segundo o portal do agronegócio, em 2017, somente o Brasil cultivou 50,2 milhões de hectares com cultivo transgênico. Ao mesmo tempo, os pesquisadores aprimoravam as técnicas de produção de transgênicos e elaboração de novos produtos, ainda faltam critérios para avaliar os riscos dos transgênicos, ocasionando uma gama de concepções acerca de suas consequências (ENIKKEEV, 2018). O Brasil é um grande produtor de culturas geneticamente modificadas, e no decorrer do ano de 2018, o Brasil cultivou 51,3 milhões de hectares em culturas transgênicas com um crescimento de 2% em relação ao ano anterior (UDOP, 2019).

2.4 Conceito de Agricultura Moderna

Após a revolução verde, a prática agrícola passou por uma transformação brusca, na qual o principal objetivo foi aumentar a produtividade. Esse processo produtivo, que antes estava sujeito aos fatores ambientais, como: clima, temperatura, relevo, solo, etc., hoje contam com recursos sofisticados como fertilizantes, pesticidas e manipulação gênica, aumentando a produtividade mesmo em solos menos férteis e utilizando menos espaço territorial (SOUZA, 2004). Entre as tecnologias envolvidas durante essa modernização se incluem as sementes com alto rendimento, irrigação intensiva, agroquímicos e mecanização (SARKAR *et al.*, 2012).

Diante disso, a área de cultivo mundial tem previsão de crescimento entre 10 a 25% até 2050, aumentando a produção mundial de alimentos em 43 a 99% comparando com o cenário atual (MARIN *et al.*, 2016). Assim, se vive um impasse, de um lado se tem o crescimento econômico e a diminuição da desnutrição mundial, do outro, intensificação agrícola prevalece insustentável e não ecológica (LANZ *et al.*, 2018).

2.5 Reflexos Positivos da Biotecnologia na Agricultura

Não há dúvidas de que a biotecnologia moderna trouxe vantagens competitivas para a agricultura, como variedades transgênicas resistentes às pragas, patógenos e herbicidas, diminuindo o custo da produção e reduzindo as perdas na lavoura (GOMES; BORÉM, 2015). Entre as principais vantagens do uso de biotecnologia na agricultura se destacam:

As pragas e doenças em plantas são um grande desafio para a agricultura, gerando assim uma busca por espécies mais tolerantes ao estresse biótico. Com isso, o conhecimento de técnicas genética e moleculares para controlar essas doenças causadas, principalmente, por micro-organismos vêm ganhando destaque (LOPES FILHO *et al.*, 2020). As variedades de plantas geneticamente modificadas resistentes às pragas e doenças reduzem o risco de toxinas (como alguns fungos, que produzem uma toxina natural nas plantas que é altamente cancerígena, sendo mais arriscado que o próprio pesticida) e diminuem o uso de agroquímicos, que por consequência, minimiza a poluição ambiental (VALOIS, 2016).

Fatores abióticos como mudanças climáticas (seca ou temperaturas extremas) apresentam grandes ameaças às culturas (TONG, 2019; SIPPEL *et al.*, 2020). Assim, através da engenharia genética, há uma busca por plantas geneticamente modificadas que se adaptam aos fatores externos abióticos como a seca, a salinidade, a acidez, o excesso de chuva, o frio e o calor, permitindo assim, um aumento produtivo e diminuição de perdas durante as safras (OLIVEIRA, 2000). Mesmo com a busca por técnicas para melhorar a tolerância das plantas aos estresses abióticos, essas iniciativas ainda passam por grandes obstáculos em decorrência da forma como a planta responde a tais fatores (LOPES FILHO *et al.*, 2020).

O uso indiscriminado de agroquímicos contribui na seleção de espécies resistentes, resultando assim na mortalidade de insetos benéficos considerados inimigos naturais das pragas, além de contribuir para o surgimento de pragas secundárias, causando desequilíbrio ao ecossistema e afetando a saúde humana e a sociedade (TOGNI *et al.*, 2019).

Diante disso, a busca por alternativas que minimizem o uso de agroquímicos e seus efeitos vêm sendo cada vez mais estudadas. Uma alternativa mais sustentável é o uso de controle biológico (CB), que utiliza inimigos naturais como insetos predadores, parasitoides, vírus, bactérias, fungos e nematoides produzidos de forma massal em laboratórios e liberados no campo para promover a redução de pragas agrícolas (PARRA, 2014). Esta técnica vem demonstrando resultados satisfatórios e uma oportunidade de inovação e competitividade no mercado agrícola (VARSHNEY *et al.*, 2020).

Algumas culturas geneticamente modificadas possuem características que conferem resistência aos herbicidas e/ou aos insetos. Essas culturas possuem interesse econômico e ocupam mais de 90 milhões de hectares no Mundo, sendo os Estados Unidos, Brasil e Argentina os líderes de produtividade (SAUSEN *et al.*, 2020). Além dos benefícios econômicos e mais sustentáveis das espécies disponíveis, atualmente, no mercado, essas também demonstram segurança para o consumo, pois passam por processos rigorosos avaliativos (CHEN *et al.*, 2019).

O índice de produtividade envolve diversos fatores, dependendo muitas vezes do tipo de cultura utilizada e suas

características (CHEN *et al.*, 2019). Com isso, o uso de sementes transgênicas em lavouras aumenta a produtividade sem ampliar a área de plantio, gerando mais lucros aos agricultores e benefícios ao meio ambiente, uma vez que não há necessidade de expansão territorial (VALOIS, 2001).

A biotecnologia veio para revolucionar a agricultura moderna tornando também a alimentação do consumidor mais nutritiva. O valor nutricional é de suma importância, pois esses produtos podem ser consumidos como fonte enriquecida de nutrientes de forma direta ou indireta (insumos alimentícios) (OKUZAKI *et al.*, 2018).

2.6 Impactos Negativos Causados pela Agricultura Moderna

O desenvolvimento da agricultura foi possível por meio do desenvolvimento tecnológico, que ocorreu a partir do século XX, gerando impactos positivos e negativos. Entre os possíveis riscos podem ser apontados os mais significativos:

A monocultura (presença de única cultura) cresce de maneira drástica, deixando de lado a importância da rotação de culturas. Além de problemas ambientais, a monocultura causa perda de propriedades físicas, químicas e biológicas do solo o que, conseqüentemente, gera perda da produtividade e o descontrole de doenças, pragas e plantas daninhas (GASSEN, 2005). Esses fatores podem causar danos no meio ambiente, bem como impactos sociais gerando desemprego de pequenos agricultores e diminuindo a produção de alimentos (DA SILVA; FERREIRA, 2018).

As espécies geneticamente modificadas podem comprometer a biodiversidade, pois ao serem lançadas na natureza pode ocorrer o cruzamento entre espécies transgênicas e nativas aumentando a variabilidade genética e ocasionando contaminação genética, gerando características indesejáveis nas progênes (VALOIS, 2016).

Os transgênicos possuem resistência a determinados tipos de herbicidas, podendo, com isso, utilizar agroquímicos sem causar danos às plantas (SAUSEN *et al.*, 2020), porém quando esses produtos químicos são utilizados em excesso podem causar a eliminação de predadores naturais e desenvolver pragas mais resistentes (EHLERS, 2017).

2.6.1 Impactos Sociais

Com a modernização agrícola causada pela biotecnologia, muitos agricultores, que dependiam de sua mão de obra como principal fonte de renda, foram excluídos dos campos e substituídos por maquinários agrícolas modernos. A desigualdade se intensifica, quando alguns agricultores não possuem renda suficiente para investir na adoção de técnicas agrícolas modernas (GILLES *et al.*, 2015).

3 Conclusão

A evolução da agricultura, ao longo dos anos, aumentou o uso de agroquímicos e monoculturas, causando riscos para a biodiversidade e saúde humana. Porém, com os avanços

na área da biotecnologia verde houve uma maior velocidade no desenvolvimento de plantas, aumento na produtividade e, conseqüentemente, a lucratividade dos produtores, redução significativa dos custos, genótipos de melhor qualidade e maior valor nutricional, aumento da variabilidade genética, desenvolvimento acelerado do agronegócio, entre outras vantagens provindas do melhoramento genético na agricultura.

As técnicas modernas utilizadas para remediar a atual situação de exploração agrícola ainda necessitam de estudos mais aprofundados acerca de seus impactos, principalmente, no que tange ao meio ambiente, sociedade e a saúde humana, mas sem deixar de lado os benefícios visíveis advindos das mesmas. Procurou-se demonstrar o processo de modernização na agricultura brasileira, uso da biotecnologia e suas conseqüências, entendendo os impactos negativos e os reflexos positivos.

Referências

- ABDEL-AZIZ, S.M. *et al.* Fungal nanoparticles: a novel tool for a green biotechnology? In: FUNGAL NANOBIONICS: PRINCIPLES AND APPLICATIONS. Singapore: Springer, 2018. p. 61-87.
- ARMANDA, D.T.; GUINÉE, J.B.; TUKKER, A. The second green revolution: Innovative urban agriculture's contribution to food security and sustainability: a review. *Global Food Security*. v.22, p.13-24, 2019. doi:10.1016/j.gfs.2019.08.002.
- BALSAN, R. Impactos decorrentes da modernização da agricultura brasileira/decurent impacts of the agriculture modernization in Brazil. *Campo-Território Rev. Geografia Agrária*, v.1, n.2, p.123-151, 2006.
- BHATIA, S. History, scope and development of biotechnology. *Introduction Pharm. Biotechnol.*, v.1, 2018. doi:10.1088/978-0-7503-1299-8ch1.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Boletim Técnico: *Biotecnologia Agropecuária*. Brasília: MAPA, 2010.
- CHEN, K. *et al.* CRISPR/Cas genome editing and precision plant breeding in agriculture. *Ann. Rev. Plant Biol.*, v.70, 667-697, 2019. doi: 10.1146/annurev-arplant-050718-100049.
- DANYLOVA, T.V.; KOMISARENKO, S. V. Standing on the ShoulderS of giantS: JameS WatSon, franciS crick, maurice WilkinS, roSalind franklin and the birth of molecular biology. *Ukr Biochem J*, v. 92, n. 4, p. 154-165, 2020. doi:10.15407/ubj92.04.154.
- DAS CHAGAS, F. *et al.* Biological control on organic agriculture by growers of the city of Maringá (Paraná, Brazil). *Ciência e Natura*, v. 38, n. 2, p. 637, 2016.
- DE ALMEIDA XAVIER, T.D.; NUNES FILHO, L.; DOS SANTOS LOPES, S. S. Análise Prospectiva do Algodão Transgênico no Brasil. *Cad. Prospecção*, v. 1, n.3, p.927, 2018. doi: 10.9771/cp.v1i1i3.27115.
- DE OLIVEIRA, L.C.M.; DE CAMARGO, R. A. L. O uso de sementes geneticamente modificadas nas culturas de soja e milho e a renda agrícola dos produtores. *FACEF*, v.21, n.3, p.247-262, 2018.
- EHLERS, E. *O que é agricultura sustentável*. Rio de Janeiro: Brasiliense, 2017.
- ENIKEEV, A. G. Transgenic plants: new biological system or new properties of plant-agrobacterium symbiosis? *Russian J. Plant Physiol.*, v.65, n.5, p.621-627, 2018. doi: 10.1134/S1021443718050060.
- FALEIRO, F.G.; DE ANDRADE, S.R.M.; DOS REIS JUNIOR, F. B. *Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária*. Planaltina: Embrapa, 2011.
- GASSEN, F. *Perdas repetidas*. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/71325/1/ID-25583.pdf>. 2005. Acesso em: 23 jul. 2020.
- GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. São Paulo: Atlas, 1999.
- GILLES, F. *et al.* Lavouras transgênicas: riscos e incertezas: mais de 750 estudos desprezados pelos órgãos reguladores de OGMs. In: Organismos geneticamente modificados e plantas transgênicas alimentares: debates distintos. 2015. Disponível em: <https://jbb.ibict.br/bitstream/1/686/1/2015%20Lavouras%20transg%3%aanicas.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2021.
- GOMES, W. S.; BORÉM, A. Biotecnologia: novo paradigma do agronegócio brasileiro. *REA*, v.11, n.1, p.115-136, 2015.
- KIM, W. C.; ALI, S. A fruitful decade using synthetic promoters in the improvement of transgenic plants. *Frontiers Plant Sci.*, v.10, p. 1433, 2019. doi: 10.3389/fpls.2019.01433.
- LANZ, B.; DIETZ, S.; SWANSON, T. A expansão da agricultura moderna e o declínio da biodiversidade global: uma avaliação integrada. *Economia Ecol.*, v.144, p.260-277, 2018.
- LOPES FILHO, J. H. *et al.* Introdução à edição genômica em plantas: desafios da agricultura moderna para o presente e o futuro. In: DOMESTICAÇÃO ACELERADA E “DE NOVO” DE ESPÉCIES SELVAGENS. Embrapa Informática Agropecuária, 2020.
- MARIN, F.R. *et al.* Intensificação sustentável da agricultura brasileira: cenários para 2050. *Rev. Política Agrícola*, v.25, n.3, p.108-124, 2016.
- MOEEN, M.; AGARWAL, R. Incubation of an industry: heterogeneous knowledge bases and modes of value capture. *Strategic Manag. J.*, v.38, n.3, p.566-587, 2017. doi: 10.1002/smj.2511.
- MUDOI, K. D. *et al.* Micropropagation of important bamboos: a review. *African J. Biotechnol.* v.12, n.20, p. 2770-2785, 2013. doi: 10.5897/AJB12.2122.
- OKUZAKI, A. *et al.* CRISPR/Cas9-mediated genome editing of the fatty acid desaturase 2 gene in Brassica napus. *Plant Physiol. Biochemistr.* v.131. p.63-69, 2018. doi: 10.1016/j.plaphy.2018.04.025.
- OLIVEIRA, M. M. Aplicações e avanços na área da biotecnologia vegetal. *Bol. Biotecnol.*, v.66, p. 22-27, 2000.
- PARRA, J.R.P. Biological Control in Brazil na Overview. *Scie. Agrícola*, v.71, p.420-429, 2014. doi: 10.1590/0103-9016-2014-0167.
- PANDEY, P.; PRIYADARSHINI, A. Agricultural biotechnology: introduction and history. In: Biocatalysis and Agricultural Biotechnology: Fundamentals, Advances, and Practices for a Greener Future, 2018, p. 7.
- PORTAL DO AGRONEGÓCIO. *Brasil é responsável por 26% da área plantada com transgênicos no mundo, aponta estudo inédito*. Disponível em: <https://www.portaldoagronegocio.com.br/tecnologia/transgenicos/noticias/brasil-e-responsavel-por-26-da-area-plantada-com-transgenicos-no-mundo-aponta-estudo-inedito-173207>. Acesso em: 2 fev. 2021.
- RAYMAEKERS, K. *et al.* Screening for novel biocontrol

- agents applicable in plant disease management—a review. *Biological Control*, v.144, p.104240, 2020. doi: 10.1016/j.biocontrol.2020.104240.
- ROCK, J.; SCHURMAN, R. The complex choreography of agricultural biotechnology in Africa. *African Affairs*, v. 119, n. 477, p. 499-525, 2020. doi:10.1093/afraf/adaa021
- SARKAR, A. *et al.* Emerging health risks associated with modern agriculture practices: A comprehensive study in India. *Enviro. Res.*, v.115, p.37-50, 2012. doi: 10.1016/j.envres.2012.03.005.
- SAUSEN, D. *et al.* Biotecnologia aplicada ao manejo de plantas daninhas/Biotechnology applied to weed management. *Braz. J. Develop.*, v.6, n.5, p.23150-23169, 2020. doi: 10.34117/bjdv6n5-027.
- SINGH S. R. *et al.* Limitations, progress and prospects of application of biotechnological tools in improvement of bamboo: a plant with extraordinary qualities. *Physiol. Mol. Biol. Plants*, v.19, n.1, p.21-41, 2013. doi: 10.1007/s12298-012-0147-1.
- SIPPEL, S. *et al.* Climate change now detectable from any single day of weather at global scale. *Nat. Climate Change*, v.10, n.1, p.35-41, 2020. doi:10.1038/s41558-019-0666-7
- SOUZA, F.C.S. Repensando a Agricultura: o enfoque da sustentabilidade como padrão alternativo à agricultura moderna. *Holos*, v. 2, p. 115-136, 2004.
- SOHN, E. How Local Industry R&D Shapes Academic Research: Evidence from the Agricultural Biotechnology Revolution. *Org. Scie.*, p.1-33 2020. doi: 10.1287/orsc.2020.1407.
- TOGNI, P.H.B. *et al.* Brazilian legislation leaning towards fast registration of biological control agents to benefit organic agriculture. *Neotropical Entomol.*, v.48, n.2, p.175-185, 2019. doi:10.1007/s13744-019-00675-8.
- TONG, S.; EBI, K. Preventing and mitigating health risks of climate change. *Environ. Res.*, v.174, p.9-13, 2019. doi: 10.1016/j.envres.2019.04.012.
- UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA. Área cultivada com transgênicos no Brasil cresce 2% em 2018. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2019/08/28/area-cultivada-com-transgenicos-no-brasil-cresce-2-em-2018.html>. 2019. Acesso em: 5 set. 2020.
- VALOIS, A. C. C. Importância dos transgênicos para a agricultura. *Cad. Ciênc. Tecnol.*, v.18, n. 1, p. 27-53, 2001.
- VALOIS, A.C.C. Biodiversidade, biotecnologia e organismos transgênicos. Área de Informação da Sede - Texto para Discussão. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2016.
- VARSHNEY, R. *et al.* Biocontrol-based management of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae) on Indian Maize. *J. Plant Dis. Protection*, v.3, p. 1-9, 2020. doi: 10.1007/s41348-020-00357-3
- VIEIRA, A. C. P. *et al.* Patenteamento da biotecnologia no setor agrícola no Brasil: uma análise crítica. *Rev. Bras. Inovação*, v. 9, n. 2, p. 323-354, 2010. doi: 10.20396/rbi.v9i2.8649004.