

O PAPEL DA MANIPULAÇÃO GENÉTICA NA SEGURANÇA ALIMENTAR: UM OLHAR SOBRE A BIOTECNOLOGIA, O AGRONEGÓCIO E A BIOSSEGURANÇA

THE ROLE OF GENETIC MANIPULATION IN FOOD SAFETY: A LOOK AT BIOTECHNOLOGY, AGRIBUSINESS AND BIOSAFETY

EL PAPEL DE LA MANIPULACIÓN GENÉTICA EN LA SEGURIDAD ALIMENTARIA: UNA MIRADA A LA BIOTECNOLOGÍA, LA AGROINDUSTRIA Y LA BIOSEGURIDAD

Suraia de Cássia Nasralla Souza¹, José Dias da Costa Lyra², Patricia Figueiredo Stefani³, Nelson Guilherme Machado Pinto⁴, Cristina de Oliveira Araújo⁵, Thiago Machado Budó⁶

DOI: 10.54899/dcs.v22i83.3546

Recibido: 09/10/2025 | Aceptado: 10/10/2025 | Publicación en línea: 30/10/2025.

RESUMO

A manipulação genética constitui um dos principais instrumentos de inovação no agronegócio contemporâneo, permitindo avanços em produtividade, resistência a pragas e adaptação às mudanças climáticas. Desde Mendel até as modernas técnicas de edição genômica, como o CRISPR/Cas9, a genética tem moldado a produção agrícola e pecuária, mas também suscitado desafios éticos, socioeconômicos e ambientais. O referencial teórico deste estudo articula quatro dimensões: o percurso histórico da genética no agronegócio; o princípio da segurança alimentar, os marcos regulatórios nacionais e internacionais e os aspectos éticos e socioeconômicos, como os riscos de dependência tecnológica e a necessidade de preservação da agrobiodiversidade. A pesquisa, de natureza qualitativa e exploratória, analisou obras científicas, legislações e relatórios de organismos internacionais, objetivando identificar benefícios e riscos associados à manipulação genética. Os resultados indicam que, embora a biotecnologia amplie a oferta e a qualidade de alimentos, sua aplicação requer governança responsável, políticas inclusivas e salvaguardas éticas. Portanto, a manipulação genética pode se consolidar como pilar do desenvolvimento sustentável e da segurança alimentar, desde que associada a marcos regulatórios sólidos e à preservação da biodiversidade.

¹ Doutoranda em Direito, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Palmeira das Missões, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: suraianasrallas@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-6536-1695>

² Doutor em Direito, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Santo Ângelo, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: jlyra@san.uri.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1952-3365>

³ Doutoranda em Agronegócios, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Palmeira das Missões, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: patriciamfstefani@yahoo.com.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1573-8660>

⁴ Doutor em Administração, Universidade Federal de Santa Maria, Palmeira das Missões, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: nelson.pinto@ufsm.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1105-2271>

⁵ Doutora em Ecologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Palmeira das Missões, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: patriciamfstefani@yahoo.com.br

⁶ Bacharel em Administração, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Palmeira das Missões, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: thb.budo@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-1366-3112>

Palavras-chave: Manipulação Genética. Segurança Alimentar. Biotecnologia. Agronegócio.

ABSTRACT

Genetic manipulation is one of the main tools for innovation in contemporary agribusiness, enabling advances in productivity, pest resistance, and adaptation to climate change. From Mendel to modern genome editing techniques such as CRISPR/Cas9, genetics has shaped agricultural and livestock production, but has also raised ethical, socioeconomic, and environmental challenges. The theoretical framework of this study articulates four dimensions: the historical trajectory of genetics in agribusiness; the principle of food security; national and international regulatory frameworks; and ethical and socioeconomic aspects, such as the risks of technological dependence and the need to preserve agrobiodiversity. The research, qualitative and exploratory in nature, analyzed scientific works, legislation, and reports from international organizations, aiming to identify the benefits and risks associated with genetic manipulation. The results indicate that, although biotechnology expands the supply and quality of food, its application requires responsible governance, inclusive policies, and ethical safeguards. Therefore, genetic engineering can become a pillar of sustainable development and food security, provided it is coupled with solid regulatory frameworks and biodiversity preservation.

Keywords: Genetic Engineering. Food Security. Biotechnology. Agribusiness.

RESUMEN

La manipulación genética es una de las principales herramientas de innovación en la agroindustria contemporánea, permitiendo avances en productividad, resistencia a plagas y adaptación al cambio climático. Desde Mendel hasta técnicas modernas de edición genómica como CRISPR/Cas9, la genética ha moldeado la producción agrícola y ganadera, pero también ha planteado desafíos éticos, socioeconómicos y ambientales. El marco teórico de este estudio articula cuatro dimensiones: la trayectoria histórica de la genética en la agroindustria; el principio de seguridad alimentaria; los marcos regulatorios nacionales e internacionales; y aspectos éticos y socioeconómicos, como los riesgos de la dependencia tecnológica y la necesidad de preservar la agrobiodiversidad. La investigación, de carácter cualitativo y exploratorio, analizó trabajos científicos, legislación e informes de organizaciones internacionales, con el objetivo de identificar los beneficios y riesgos asociados a la manipulación genética. Los resultados indican que, si bien la biotecnología amplía la oferta y la calidad de los alimentos, su aplicación requiere una gobernanza responsable, políticas inclusivas y garantías éticas. Por lo tanto, la ingeniería genética puede convertirse en un pilar del desarrollo sostenible y la seguridad alimentaria, siempre que se acompañe de marcos regulatorios sólidos y la preservación de la biodiversidad.

Palabras clave: Ingeniería Genética. Seguridad Alimentaria. Biotecnología. Agronegocios.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

O agronegócio ocupa um papel central na economia brasileira, sendo responsável por grande parte da produção de alimentos que abastecem tanto o mercado interno quanto as exportações. Diante do aumento populacional, das mudanças climáticas e da pressão por sistemas produtivos mais sustentáveis, cresce a necessidade de desenvolver tecnologias capazes de aumentar a produtividade sem comprometer os recursos naturais. Nesse cenário, a manipulação genética de plantas e animais surge como uma das ferramentas mais promissoras, trazendo inovações que vão desde o melhoramento clássico até técnicas de edição genômica de alta precisão, como o CRISPR/Cas9. O sistema CRISPR/Cas, que usa repetições palindrômicas curtas regularmente intercaladas, é uma tecnologia de edição de genoma revolucionária. Embora a primeira evidência de seu uso em bactérias tenha surgido apenas em 2007, ele já se destaca como uma ferramenta promissora para o agronegócio, com potencial para melhorar o desempenho agrícola globalmente (Maximiliano *et al.*, 2021). Esse sistema funciona como uma espécie de sistema imunológico para bactérias e arqueias, protegendo-as de vírus e outros elementos genéticos invasores.

A engenharia genética transformou o agronegócio nas últimas três décadas, permitindo a criação de diversas culturas agrícolas geneticamente modificadas. Um exemplo notável são as culturas transgênicas, como o milho e o algodão, que foram modificadas para produzir proteínas inseticidas da bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt). Outras inovações incluem a produção em larga escala de somatotropina suína (PST), um hormônio do crescimento, e o desenvolvimento de suínos transgênicos que expressam esse hormônio (Raman, 2017). A manipulação genética em plantas, especialmente na cultura da soja, e a preservação da biodiversidade agrícola têm como pano de fundo a necessidade de garantir a segurança alimentar global. O desenvolvimento da biotecnologia genética e sua aplicação prática nas ciências agrícolas e ambientais nos confrontam com relevantes questões éticas e jurídicas. O progresso alcançado pelas tecnologias genéticas nos leva a questionar os possíveis riscos e abusos que delas podem decorrer, trazendo prejuízos tanto para a produção agrícola quanto para o meio ambiente.

Apesar das vantagens, o uso dessas tecnologias levanta questões importantes. Por um lado, elas permitem criar cultivares mais resistentes a pragas, reduzir perdas na produção e adaptar culturas às variações climáticas. Por outro, despertam preocupações éticas, ambientais e socioeconômicas, como a redução da biodiversidade agrícola, a dependência dos agricultores em

relação a sementes patenteadas e a concentração de mercado em grandes corporações. Além disso, do ponto de vista jurídico, é necessário refletir sobre a adequação e a efetividade dos marcos regulatórios que buscam equilibrar inovação tecnológica, segurança alimentar e proteção socioambiental. Nesse contexto, surge o problema da pesquisa: de que maneira a manipulação genética pode ser aplicada de forma segura, ética e sustentável no agronegócio, garantindo inovação tecnológica e aumento da produtividade, sem colocar em risco a biodiversidade, a segurança alimentar e a justiça social?

A manipulação genética encontra respaldo em marcos regulatórios nacionais e internacionais. No Brasil, a Constituição Federal de 1988 estabelece princípios ambientais e de proteção à vida, enquanto a Lei nº 11.105/2005, conhecida como Lei de Biossegurança, disciplina a pesquisa, produção e comercialização de Organismos Geneticamente Modificados (OGMs), atribuindo à Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) a responsabilidade pela avaliação dos riscos envolvidos. Além disso, instrumentos internacionais como a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) e a Declaração Universal sobre o Genoma Humano e os Direitos Humanos fornecem diretrizes éticas e normativas para a utilização da biotecnologia.

O estudo tem relevância porque a biotecnologia é cada vez mais utilizada como resposta às limitações impostas pelo clima e pela demanda global por alimentos. Assim, compreender seus benefícios e riscos é essencial não apenas para orientar políticas públicas e regulamentações, mas também para oferecer alternativas que fortaleçam a soberania alimentar, protejam a biodiversidade e assegurem que os avanços científicos resultem em benefícios coletivos, e não apenas em ganhos privados. Com base nessa problemática, o estudo tem como objetivo geral analisar a manipulação genética no agronegócio sob perspectivas histórica, científica, jurídica, ética e socioeconômica, para identificar seus potenciais benefícios e riscos no caminho para uma agricultura mais produtiva e sustentável.

Os objetivos específicos são: resgatar o percurso histórico da genética aplicada ao agronegócio, destacando suas principais descobertas e aplicações; examinar o princípio da segurança alimentar como referência central para o uso da biotecnologia agrícola; analisar os marcos regulatórios nacionais e internacionais que orientam a manipulação genética; discutir os impactos éticos e socioeconômicos relacionados à dependência tecnológica, à concentração de mercado e à preservação da biodiversidade.

Com os resultados esperados, busca-se não apenas sistematizar informações já disponíveis, mas também oferecer reflexões que possam subsidiar políticas públicas, orientar

agricultores e pesquisadores, e contribuir para a formulação de estratégias de governança mais responsáveis. A expectativa é que este estudo ajude a indicar caminhos para que a biotecnologia seja utilizada de maneira ética e sustentável, equilibrando inovação tecnológica, preservação ambiental e promoção da segurança alimentar no Brasil e no cenário internacional.

REFERENCIAL TEÓRICO

Breve Histórico da Genética no Agronegócio

O estudo da manipulação genética no agronegócio fundamenta-se em um percurso histórico que remonta ao século XIX, quando Gregor Mendel, em seus experimentos com ervilhas, formulou as leis da hereditariedade, estabelecendo a base científica para a genética moderna. Essas descobertas revelaram que os traços de organismos vivos são transmitidos de forma previsível, constituindo o alicerce para o melhoramento genético de plantas e animais (Neves, 2016). Charles Darwin, por sua vez, ao desenvolver a teoria da evolução em *A Origem das Espécies*, demonstrou como a seleção natural influencia a sobrevivência e reprodução das espécies, utilizando como analogia a seleção artificial realizada por agricultores e criadores. Essa relação direta entre seleção natural e seleção dirigida pelo homem contribuiu para consolidar os fundamentos do melhoramento genético aplicado à agricultura (Carmo; Martins, 2006).

Essa base teórica permitiu que a agricultura e a pecuária avançassem na seleção sistemática de características desejáveis. Halacy Jr. (1976) destaca que a preocupação com a hereditariedade remonta a pensadores antigos como Aristóteles, mas que apenas com Mendel e seus sucessores a genética passou a ser tratada como ciência aplicada. Francis Galton, ao unir os princípios darwinistas à aplicação da estatística, inaugurou a biometria, introduzindo conceitos como correlação e regressão, que se tornaram essenciais para prever e quantificar a herança genética em organismos (Neves, 2016).

As primeiras pesquisas em plantas sobre a hereditariedade foram muito difíceis, pois precisavam realizar os cruzamentos entre plantas e fazer uma seleção das mais prováveis de serem compatíveis. Os estudos que antecederam Mendel deixaram contribuições de extrema relevância para o avanço das pesquisas e descobertas da hereditariedade. Mendel deu uma continuidade e complementou os estudos de seus antecessores. “O mendelismo é a base para o entendimento dos processos que envolvem herança gênica nos organismos” (Neves, 2016). A evolução dos

conhecimentos em genética avançou de forma significativa no século XX, com a descoberta da estrutura do DNA e o desenvolvimento das técnicas de engenharia genética.

O DNA recombinante possibilitou a inserção de genes específicos em organismos, resultando no surgimento dos OGMs, como as plantas transgênicas resistentes a pragas ou tolerantes a herbicidas. Esses avanços tecnológicos culminaram, nas últimas décadas, no uso de ferramentas de edição genômica, como o sistema CRISPR-Cas9, que permite alterações precisas no material genético, ampliando o potencial de inovação no setor agrícola. (Goñi Urcelay, 2011)

No agronegócio, a manipulação genética tem desempenhado papel central na busca por maior produtividade e qualidade. O aprimoramento de culturas como soja, milho, trigo e cana-de-açúcar resultou em um aumento significativo na produção agrícola. Além disso, as culturas se tornaram mais resistentes a pragas, doenças e condições climáticas desfavoráveis. Da mesma forma, o melhoramento genético animal tem permitido o desenvolvimento de raças de animais de criação como gado, aves, suínos e peixes mais eficientes em termos de maturidade, crescimento e produtividade. Esses avanços buscam atender à crescente demanda mundial por alimentos, mas também suscitam reflexões sobre sustentabilidade e preservação da biodiversidade. (Conway, 1999).

Princípio da Segurança Alimentar

O princípio da segurança alimentar e nutricional (SAN) emerge como elemento essencial no debate sobre a manipulação genética no agronegócio. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), a segurança alimentar existe quando todas as pessoas têm, a todo momento, acesso físico, social e econômico a alimentos em quantidade e qualidade suficientes, seguros e nutritivos, que atendam às suas necessidades dietéticas e preferências culturais para uma vida ativa e saudável. Essa concepção amplia o enfoque para além da simples disponibilidade de alimentos, incluindo dimensões como acessibilidade, estabilidade e adequação nutricional (HLPE, 2020).

No Brasil, a segurança alimentar foi elevada à categoria de direito fundamental, estando protegida pela Constituição Federal de 1988. O artigo 6º, após a Emenda Constitucional nº 64/2010, incluiu a alimentação no rol de direitos sociais, enquanto o artigo 225 assegura o direito ao meio ambiente equilibrado, diretamente relacionado à produção sustentável de alimentos (Brasil, 1988; Brasil, 2010). Esse marco legal foi complementado pela Lei Orgânica de Segurança

Alimentar e Nutricional (LOSAN – Lei nº 11.346/2006), que instituiu o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (SISAN), reforçando a perspectiva de integração entre políticas de produção, abastecimento, saúde e meio ambiente (Brasil, 2006).

No contexto da biotecnologia, o princípio da segurança alimentar adquire relevância ao orientar a utilização da manipulação genética como instrumento para enfrentar desafios estruturais da agricultura, tais como a vulnerabilidade às mudanças climáticas, a perda de produtividade agrícola e a pressão do crescimento populacional mundial (FAO, 2019; IPES-FOOD, 2016). Contudo, a segurança alimentar não pode ser compreendida apenas sob a ótica da produtividade. Souza (2007) e Shiva (2016) alertam que a adoção indiscriminada de OGMs e sementes patenteadas pode gerar dependência tecnológica e ampliar a concentração de mercado em grandes corporações, comprometendo a soberania alimentar dos povos e reduzindo a diversidade de sistemas agrícolas. Nessa perspectiva, a preservação das variedades crioulas e da agrobiodiversidade torna-se indispensável, pois garante opções adaptativas para as futuras gerações (Altieri, 2012; Brush, 2004).

No plano internacional, a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB, 1992) e o Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2001) estabelecem que o acesso e o uso de recursos genéticos devem respeitar princípios de sustentabilidade, repartição justa e equitativa de benefícios e reconhecimento dos direitos dos agricultores. Esses marcos reafirmam que a segurança alimentar não pode ser dissociada da responsabilidade socioambiental e da ética na produção de alimentos. Portanto, o princípio da segurança alimentar, aplicado ao debate da manipulação genética, exige um equilíbrio entre inovação tecnológica e sustentabilidade. Isso implica promover ganhos de produtividade e adaptação climática sem comprometer a biodiversidade, assegurando que os benefícios das biotecnologias sejam distribuídos de maneira justa e inclusiva (Ribeiro, 2011).

Aspectos Legais e Regulatórios

A manipulação genética no agronegócio, especialmente no que se refere aos OGMs, encontra fundamento em um complexo aparato jurídico que articula normas constitucionais, legislação infraconstitucional e tratados internacionais. Essa base normativa busca equilibrar o incentivo à inovação biotecnológica com a proteção da saúde humana, da biodiversidade e do meio ambiente (Souza, 2012). No ordenamento brasileiro, a Constituição Federal de 1988

estabelece princípios fundamentais relacionados à questão. O artigo 225 dispõe que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (Brasil, 1988). Em especial, os incisos II, IV e V do §1º do referido artigo trata da preservação da diversidade genética, da exigência de estudos prévios de impacto ambiental para atividades potencialmente causadoras de degradação e do controle de substâncias que possam representar risco à saúde e ao meio ambiente. Tais dispositivos constituem a base constitucional para a regulação da biotecnologia e da manipulação genética em território nacional.

No âmbito infraconstitucional, destaca-se a Lei nº 11.105/2005, conhecida como Lei de Biossegurança, que regulamenta os incisos constitucionais e disciplina as atividades que envolvem OGMs e seus derivados. Essa lei estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização, criando um sistema de governança que inclui a CTNBio, responsável por avaliar e autorizar projetos de pesquisa e uso comercial de OGMs no Brasil (Brasil, 2005). A CTNBio atua como órgão consultivo e deliberativo, composto por especialistas de diversas áreas, cuja função é analisar os riscos potenciais associados às práticas de manipulação genética, assegurando que a introdução de novas variedades vegetais e animais no mercado esteja alinhada às normas de biossegurança e aos princípios constitucionais.

O arcabouço legal brasileiro também prevê a responsabilidade objetiva por danos causados ao meio ambiente, em consonância com o artigo 225, §3º, da Constituição. Danos à biodiversidade como a contaminação de sementes nativas por OGMs, a perda de espécies ou a alteração de ecossistemas, contaminação ambiental com prejuízos ao solo, água ou ar causados por resíduos ou subprodutos da produção de OGMs e, prejuízos à saúde humana, tais como doenças ou problemas de saúde decorrentes da degradação ambiental. Dessa forma, empresas e instituições que lidam com OGMs podem ser responsabilizadas por tais danos independentemente de culpa, reforçando o caráter preventivo e protetivo da legislação ambiental (Mirra, 2002).

Além do direito interno, normas internacionais desempenham papel relevante na regulação da manipulação genética. A CDB, aprovada durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92) e promulgada no Brasil pelo Decreto nº 2.519/1998, estabelece princípios de conservação da biodiversidade e uso sustentável de seus componentes, com ênfase na repartição justa e equitativa dos benefícios derivados do uso de

recursos genéticos (Brasil, 1998). A CDB também orienta a necessidade de precaução no manejo de biotecnologias, sobretudo aquelas que possam impactar negativamente a diversidade biológica. Outro marco internacional é a Declaração Universal sobre o Genoma Humano e os Direitos Humanos, aprovada pela UNESCO em 1997, que, embora voltada à proteção da dignidade humana, estabelece diretrizes éticas relevantes para a biotecnologia em geral. Essas diretrizes, ainda que direcionadas à genética humana, encontram ressonância no debate agrícola, ao evidenciar a necessidade de salvaguardas éticas no uso do material genético como recurso comum e estratégico.

Aspectos de Biodiversidade, Éticos e Socioeconômicos

A manipulação genética em sistemas agroalimentares dialoga diretamente com a conservação da biodiversidade agrícola, incluindo recursos genéticos para alimentação e agricultura (RGAA) e as variedades crioulas conservadas pelos agricultores em sistemas tradicionais (FAO, 2010; FAO, 2019). A literatura demonstra que a difusão de cultivares uniformes e o predomínio de monocultivos podem erosionar a diversidade genética intraespecífica, reduzindo a base genética disponível para enfrentar pragas, doenças e alterações climáticas (Altieri, 2012; Brush, 2004).

Nesse sentido, é importante destacar que o cultivo em larga escala de plantas transgênicas pode causar a disseminação de genes modificados. Os efeitos desses genes, especialmente na biodiversidade, são difíceis de prever e, uma vez que ocorrem, são irreversíveis (Revista Bioika, 2024). A introdução de uma variedade transgênica em um ecossistema pode levar a uma série de consequências indesejadas, como a eliminação de espécies por seleção natural, a exposição de outras espécies a novos patógenos ou toxinas, a criação de "super-ervas daninhas" ou "super-pragas", a poluição genética, a perda de diversidade genética e a interrupção de ciclos naturais como a reciclagem de nutrientes e energia no ecossistema.

Do ponto de vista ético, a conservação da agrobiodiversidade envolve justiça intergeracional (legar opções adaptativas às futuras gerações) e justiça cognitiva, reconhecendo a contribuição de comunidades locais e povos tradicionais para a manutenção do pool genético e do conhecimento associado (CBD, 1992; ITPGRFA, 2001). Instrumentos como a CDB e o Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para a Alimentação e Agricultura (ITPGRFA) consagram a conservação e o uso sustentável dos RGAA, além de Direitos dos

Agricultores (Art. 9º do ITPGRFA), incluindo a proteção do conhecimento tradicional, a participação na tomada de decisão e o compartilhamento justo e equitativo de benefícios (FAO, 2010; FAO, 2019). Já o Protocolo de Nagoya (2010) operacionaliza o Acesso e a Repartição de Benefícios (ABS), tema particularmente sensível quando materiais e conhecimentos de comunidades são usados em programas de Pesquisa e Desenvolvimento (CBD, 2011).

No plano socioeconômico, a literatura aponta riscos de dependência tecnológica quando pacotes biotecnológicos (sementes + químicos + plataformas digitais) ficam sob controle de poucas empresas, ampliando barreiras de entrada e assimetria de poder na cadeia (Clapp, 2018; IPES-FOOD, 2016). A consolidação corporativa no setor de sementes e agroquímicos, combinada à expansão de direitos de propriedade intelectual, patentes e sistemas tipo UPOV 1991, pode restringir práticas tradicionais (guardar, trocar e vender sementes) e encarecer o acesso, com efeitos distributivos negativos sobre pequenos produtores (Kloppenburger, 2010; Howard, 2015; WTO, 1994).

Autores como Kloppenburger (2010) e Shiva (2016) discutem a “soberania de sementes” e argumentam que modelos excessivamente proprietários podem reduzir a diversidade de trajetórias tecnológicas e enfraquecer a inovação aberta e colaborativa. Por outro lado, há evidências de que esforços públicos de pesquisa e desenvolvimento e marcos de licenciamento aberto podem reduzir custos de adoção e ampliar a difusão de inovações, especialmente quando articulados a sistemas nacionais de pesquisa agropecuária e parcerias público-privadas com cláusulas pró-competição (Heisey; Spielman, 2010; Fuglie *et al.*, 2011). Em termos éticos, o problema se traduz em equidade de acesso, distribuição de riscos e benefícios e evitação de lock-ins tecnológicos que limitem a autonomia produtiva.

O debate contemporâneo converge para a construção de trajetórias de inovação responsáveis, que combinem ganhos de produtividade e qualidade com segurança alimentar, precaução ambiental e inclusão social (Von Schomberg, 2013; HLPE, 2019). Nesse sentido, a manipulação genética, incluindo OGMs e edição genômica (CRISPR-Cas), pode contribuir para resistência a estresses bióticos/abióticos, redução de perdas e adaptação climática; mas requer avaliação de risco caso a caso, monitoramento pós-liberação, rastreamento e transparência ao consumidor (FAO, 2019; HLPE, 2019).

Do ponto de vista normativo, princípios como precaução, prevenção, poluidor-pagador, função socioambiental e transparência estruturam o dever de cuidado em biotecnologia. O ITPGRFA e a CDB oferecem uma moldura internacional para governança da diversidade e

benefit-sharing, enquanto os relatórios de FAO e HLPE trazem evidências e guias operacionais para equilibrar inovação com conservação e justiça social. Em síntese, a literatura sustenta que tecnologia e governança devem caminhar juntas: sem governança adequada, a biotecnologia pode aprofundar assimetrias; com governança robusta, pode catalisar produtividade inclusiva, resiliência climática e conservação da biodiversidade. (EMBRAPA, 2021)

METODOLOGIA

A presente pesquisa, de natureza qualitativa e caráter exploratório, foi conduzida por meio de um levantamento bibliográfico e documental abrangente. A escolha por essa abordagem metodológica se justifica pela necessidade de aprofundar a compreensão sobre o tema da manipulação genética na segurança alimentar, analisando-o a partir de múltiplas perspectivas: histórica, científica, jurídica, ética e socioeconômica. Conforme Lakatos e Marconi (2003), a pesquisa bibliográfica permite a revisão e análise de contribuições teóricas e científicas já publicadas, proporcionando uma base sólida para a construção do conhecimento. O método exploratório, por sua vez, visa aprimorar ideias e obter uma visão geral do problema, sendo especialmente útil em temas que ainda demandam uma maior compreensão das suas interconexões.

A coleta de dados foi realizada em fontes secundárias, com a utilização das seguintes bases de dados acadêmicas e bibliotecas virtuais: Scielo, Google Acadêmico e Portal de Periódicos da CAPES. A busca foi orientada por combinações de palavras-chave, em português e inglês, que incluíram: manipulação genética E segurança alimentar, biotecnologia E agronegócio, engenharia genética OR transgênicos, lei de biossegurança E CTNBio, biodiversidade E biotecnologia agrícola. O critério de inclusão dos materiais foi a relevância para o tema central, a atualidade (priorizando publicações a partir do ano 2000, com exceção de obras clássicas de referência) e a credibilidade das fontes, artigos de periódicos revisados por pares, livros de editoras renomadas e documentos oficiais de organizações internacionais. Foram excluídos da análise materiais de blogs, sites não acadêmicos ou que não apresentavam rigor científico na abordagem. Além das bases de dados, a pesquisa documental incluiu a análise de legislações-chave, como a Constituição Federal de 1988 e a Lei de Biossegurança (Lei nº 11.105/2005), além de relatórios e documentos da CTNBio e da FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura).

A análise dos dados seguiu uma abordagem qualitativa, com a aplicação do método de análise de conteúdo, que, segundo Gil (2002), permite descrever e interpretar o conteúdo das mensagens de maneira sistemática e objetiva. Os dados coletados foram organizados e categorizados em quatro eixos temáticos principais, que estruturaram o referencial teórico do estudo: Percurso histórico da genética no agronegócio: Análise da evolução desde o mendelismo até a edição genômica moderna; Princípio da segurança alimentar: Avaliação do conceito e sua relação com a biotecnologia; Marcos regulatórios: Exame das legislações nacionais e internacionais que orientam o tema; Aspectos de biodiversidade, éticos e socioeconômicos: Discussão sobre os impactos sociais e ambientais da manipulação genética. A partir dessa categorização, a pesquisa permitiu estabelecer conexões entre os diferentes aspectos do problema, possibilitando uma visão holística e interpretativa do papel da manipulação genética no contexto da segurança alimentar, bem como a identificação dos benefícios, riscos e desafios para o futuro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A manipulação genética se consolidou como um dos principais instrumentos para a inovação no agronegócio, impulsionando a produtividade, a resistência a pragas e a adaptação a desafios como as mudanças climáticas e o crescimento populacional. O aprimoramento de culturas como soja, milho, trigo e cana-de-açúcar e o melhoramento genético de animais de criação já resultaram em um aumento significativo na produção agrícola. As inovações vão desde o melhoramento clássico, baseado nas leis de hereditariedade de Mendel, até técnicas de alta precisão como o sistema CRISPR/Cas9, que permite alterações específicas no material genético. Além disso, houve o desenvolvimento de suínos transgênicos que expressam o hormônio do crescimento somatotropina suína (PST).

A biotecnologia também pode contribuir para a resistência a estresses bióticos e abióticos e para a redução de perdas na produção. Apesar de seus benefícios, a manipulação genética levanta preocupações significativas. Com relação a redução da biodiversidade, o uso de cultivares uniformes e o predomínio de monoculturas podem levar à erosão da diversidade genética, tornando a produção mais vulnerável a pragas e doenças. A introdução de variedades transgênicas pode ter consequências imprevisíveis e irreversíveis para os ecossistemas, como a eliminação de espécies e a criação de super-ervas daninhas.

No que diz respeito a dependência tecnológica e concentração de mercado, a adoção de

pacotes biotecnológicos, que combinam sementes, produtos químicos e plataformas digitais, pode gerar dependência dos agricultores em relação a poucas empresas. Isso pode restringir práticas tradicionais, como o armazenamento e a troca de sementes, e encarecer o acesso à tecnologia para pequenos produtores. No que concerne a soberania alimentar, a concentração do mercado em grandes corporações pode comprometer a soberania alimentar dos povos. Por outro lado, a preservação da agrobiodiversidade, incluindo as variedades tradicionais, é essencial para garantir opções adaptativas para as futuras gerações.

Portanto, entende-se que a governança responsável e as políticas inclusivas são cruciais para assegurar que a biotecnologia beneficie a sociedade como um todo, em vez de gerar apenas ganhos privados. O debate exige um equilíbrio entre inovação tecnológica e sustentabilidade, promovendo ganhos de produtividade sem comprometer a biodiversidade e assegurando a distribuição justa dos benefícios. A manipulação genética pode se tornar um pilar do desenvolvimento sustentável e da segurança alimentar, desde que acompanhada de regulamentações sólidas e da preservação da biodiversidade. No entanto, a aplicação dessas tecnologias suscita questões éticas, ambientais e socioeconômicas.

Com relação ao marco regulatório, observou-se que, a pesquisa e o uso da manipulação genética no Brasil são orientados por um tripé normativo. A Constituição Federal de 1988 que estabelece o direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado e exige estudos prévios de impacto ambiental para atividades que possam causar degradação. A Lei de Biossegurança (Lei nº 11.105/2005) que regulamenta a pesquisa, produção e comercialização de Organismos Geneticamente Modificados (OGMs). A Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) é o órgão responsável por avaliar os riscos e autorizar o uso comercial de OGMs no país.

Esses dispositivos, aliados a normas internacionais como a Convenção sobre Diversidade Biológica (1992), o Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos (2001), e a Declaração Universal sobre o Genoma Humano e os Direitos Humanos fornecem diretrizes para o uso ético da biotecnologia e a conservação da biodiversidade. Também garantem que a manipulação genética esteja subordinada ao princípio da precaução, à preservação da biodiversidade e à repartição justa de benefícios. Assim, os resultados confirmam a relevância do arcabouço regulatório como mediador entre inovação tecnológica e responsabilidade socioambiental.

Do ponto de vista ético e socioeconômico, a discussão revela tensões significativas. Autores como Kloppenburg (2010) e Shiva (2016) destacam os riscos de um modelo baseado na

dependência tecnológica e na concentração corporativa, que pode enfraquecer a autonomia dos agricultores e reduzir a diversidade de cultivares. Os resultados corroboram esse diagnóstico, apontando que a difusão de sementes patenteadas e de pacotes tecnológicos (sementes + agroquímicos) tende a acentuar desigualdades. Por outro lado, evidências apresentadas por Heisey e Spielman (2010) e Fuglie *et al.* (2011) sugerem que a ampliação de esforços públicos de pesquisa e modelos de licenciamento aberto podem democratizar o acesso à biotecnologia, equilibrando inovação e equidade.

A discussão converge, portanto, para a perspectiva da Responsabilidade Pesquisa-Inovação (RRI), proposta por Von Schomberg (2013), que defende a necessidade de antecipar impactos, incluir múltiplos atores (agricultores, pesquisadores, sociedade civil) e assegurar transparência regulatória. Ante o exposto entende-se que, sem governança responsável, a manipulação genética pode comprometer a biodiversidade e a justiça social; mas, com governança robusta, ela pode se tornar um instrumento estratégico para promover resiliência climática, segurança alimentar e inclusão social.

CONCLUSÃO

A análise realizada demonstra que a manipulação genética no agronegócio constitui uma das principais ferramentas para responder aos desafios impostos pelo crescimento populacional, pelas mudanças climáticas e pela necessidade de garantir alimentos em quantidade e qualidade adequadas. Os avanços tecnológicos, especialmente as técnicas modernas de edição genômica, já apresentam resultados expressivos em termos de produtividade, resistência a pragas e adaptação a condições ambientais adversas, confirmando o potencial da biotecnologia como aliada estratégica da segurança alimentar.

No entanto, os resultados também revelaram que os benefícios da manipulação genética só se consolidam quando acompanhados de marcos regulatórios claros, políticas públicas inclusivas e práticas de governança que assegurem justiça social e proteção ambiental. A concentração do mercado em grandes corporações, a dependência de sementes patenteadas e o risco de erosão genética constituem ameaças reais à soberania alimentar e à biodiversidade agrícola, exigindo atenção especial dos formuladores de políticas e dos órgãos reguladores.

Diante disso, conclui-se que a manipulação genética deve ser aplicada de forma responsável, subordinada ao princípio da segurança alimentar e aos compromissos de

sustentabilidade. Deve-se, por conseguinte, atuar em medidas para fortalecer os marcos regulatórios nacionais e internacionais, garantindo avaliações rigorosas de risco e mecanismos de monitoramento contínuo, promover políticas públicas de apoio à pesquisa pública e à democratização do acesso à biotecnologia.

Tais medidas ajudariam a reduzir a dependência tecnológica de pequenos e médios agricultores, valorizar e proteger a agrobiodiversidade e as variedades crioulas, preservando a base genética essencial para a resiliência futura dos sistemas alimentares, e ampliar a transparência e a participação social no processo decisório, envolvendo agricultores, consumidores, cientistas e sociedade civil no debate sobre a biotecnologia agrícola. Assim, a manipulação genética pode cumprir sua função estratégica de ser um instrumento de inovação tecnológica capaz de equilibrar produtividade, sustentabilidade e equidade social. Utilizada de forma ética e regulada, a biotecnologia tem potencial para contribuir de maneira decisiva com o direito humano à alimentação adequada, consolidando-se como pilar do desenvolvimento sustentável no agronegócio brasileiro e mundial.

REFERÊNCIAS

ALTIERI, M. A. **Agroecology: the science of sustainable agriculture**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.

BELLON, M. R.; TAYLOR, J. E. “Folk” soil taxonomy and the maintenance of genetic diversity of maize. **Economic Botany**, v. 47, n. 3, p. 196–209, 1993.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Decreto nº 2.519, de 16 de março de 1998. Promulga a Convenção sobre Diversidade Biológica, assinada no Rio de Janeiro em 5 de junho de 1992. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 mar. 1998.

BRASIL. Lei nº 11.105, de 24 de março de 2005. Dispõe sobre a Política Nacional de Biossegurança. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 mar. 2005.

BRUSH, S. B. **Farmers’ bounty: locating crop diversity in the contemporary world**. New Haven: Yale University Press, 2004.

CARMO, V. A.; MARTINS, L. A. C. P. Charles Darwin, Alfred Russel Wallace e a seleção natural: um estudo comparativo. **Filosofia e História da Biologia**, v. 1, 2006. Disponível em: https://www.abfhib.org/FHB/FHB-01/FHB-v01-20-Viviane-Carmo_Lilian-Martins.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

CLAPP, J. Mega-mergers on the menu: corporate concentration and the politics of sustainability in the global food system. **Global Environmental Politics**, v. 18, n. 2, p. 12–33, 2018.

CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. **Convention on Biological Diversity**. New York: United Nations, 1992. Disponível em: <https://www.cbd.int/convention>. Acesso em: 4 set. 2025.

CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. **Nagoya Protocol on Access to Genetic Resources and the Fair and Equitable Sharing of Benefits**. Montreal: CBD, 2011. Disponível em: <https://www.cbd.int/abs/>. Acesso em: 4 set. 2025.

CONWAY, G. R. **The doubly green revolution: food for all in the twenty-first century**. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **A biotecnologia agropecuária: governança, inovações e desafios para a agricultura sustentável e a segurança alimentar e nutricional no Brasil**. Brasília, DF, 2021.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **Second report on the state of the world's plant genetic resources for food and agriculture**. Rome: FAO, 2010.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **The State of Food Insecurity in the World 2015**. Rome: FAO, 2015.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture**. Rome: FAO, 2019.

FUGLIE, K. et al. Research, productivity, and output growth in U.S. agriculture. Washington, DC: USDA-ERS, 2011.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOÑI URCELAY, F. M. Genoma humano. In: ROMEO CASABONA, C. M. (dir.). **Enciclopédia do biodireito e da bioética**. Bilbao: Fundación Foral de Bizkaia, 2011. Disponível em: <https://enciclopedia-bioderecho.com/autores/121>. Acesso em: 15 jan. 2024.

HALACY JR., D. S. **A revolução genética: modelando a vida de amanhã**. São Paulo: Cultrix, 1976.

HEISEY, P. W.; SPIELMAN, D. J. Public–private partnerships in agricultural research: an analysis of challenges facing national agricultural research systems. IFPRI Discussion Paper, n. 00973, 2010.

HLPE (HIGH LEVEL PANEL OF EXPERTS ON FOOD SECURITY AND

NUTRITION). **Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition**. Rome: CFS/HLPE, 2019.

HOWARD, P. H. Intellectual property and consolidation in the seed industry. **Crop Science**, v. 55, n. 6, p. 2489–2495, 2015.

IPES-FOOD (INTERNATIONAL PANEL OF EXPERTS ON SUSTAINABLE FOOD SYSTEMS). **From uniformity to diversity: a paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems**. Brussels: IPES-Food, 2016.

ITPGRFA (INTERNATIONAL TREATY ON PLANT GENETIC RESOURCES FOR FOOD AND AGRICULTURE). **International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture**. Rome: FAO, 2001.

KLOPPENBURG, J. Impeding dispossession, enabling repossession: biological open source and the recovery of seed sovereignty. **Journal of Agrarian Change**, v. 10, n. 3, p. 367–388, 2010.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MAXIMIANO, M. R. et al. CRISPR genome editing technology: a powerful tool applied to developing agribusiness. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 69, n. 23, p. 6379–6395, 2021.

MIRRA, Á. L. V. **Responsabilidade civil por dano ecológico**. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2002.

NEVES, L. A. S. **Da Antiguidade à redescoberta das Leis de Mendel**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2016.

RAMAN, R. O impacto das culturas geneticamente modificadas (GM) na agricultura moderna: uma revisão. **GM Crops & Food**, v. 8, n. 4, p. 195–208, 2017. DOI: 10.1080/21645698.2017.1413522.

REVISTA BIOIKA. Os riscos dos transgênicos: um olhar sobre a biodiversidade. 2024. Disponível em: <https://revistabioika.org/pt/econoticias/post?id=16>. Acesso em: 10 set. 2025.

RIBEIRO, S. Os transgênicos e a segurança alimentar. In: ALMEIDA, L. T.; ZANELLA, A. B. (orgs.). **Debates em biotecnologia: ciência e sociedade**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011.

SHIVA, V. **Who really feeds the world?** Berkeley: North Atlantic Books, 2016.

SOUZA, M. L. **O direito ambiental e a biotecnologia: análise do marco legal da biossegurança no Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado em Direito) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

UNESCO. **Declaração Universal sobre o Genoma Humano e os Direitos Humanos**. Paris: Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, 1997.

VON SCHOMBERG, R. A vision of responsible research and innovation. In: OWEN, R.; BESSANT, J.; HEINTZ, M. (orgs.). **Responsible innovation**. London: Wiley, p. 51–74, 2013.

WTO (WORLD TRADE ORGANIZATION). **Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights (TRIPS)**. Geneva: WTO, 1994.