

DOI: <https://doi.org/10.58871/conimaps2025.c79>

TRANSGÊNICOS NA AGRICULTURA: UMA PROSPECÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

GMOs IN AGRICULTURE: A SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL PROSPECT

MADALENA SANTOS DAS CHAGAS

Mestranda em Biotecnologia
Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAR)

VERA LÚCIA ROCHA DA SILVA

Mestre em Biotecnologia
Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAR)

JOSÉ DARLAN ALVES DA SILVA

Doutorando em Biotecnologia
Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAR)

FABIANA DA CRUZ ARAÚJO

Mestranda em Biotecnologia
Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAR)

FRANCISCA RAFAELA FERREIRA DE SOUZA

Graduanda em Licenciatura em Ciências Biológicas
Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAR)

ANA LUIZA CASTRO PEREIRA

Graduanda em Licenciatura em Ciências Biológicas
Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAR)

ALVARO ARAUJO GALENO

Mestrando em Biotecnologia
Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAR)

DEYVID ALVES ZEIDAN

Graduando em Licenciatura em Ciências Biológicas
Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAR)

MARIA DOS MILAGRES CARVALHO SANTOS

Graduanda em Licenciatura em Ciências Biológicas
Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAR)

GILDEANNI IASMIM ALVES VIEIRA

Mestre em Biotecnologia
Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAR)

RESUMO

Transgênicos são quaisquer organismos cujo material genético tenha sido manipulado para favorecer determinadas características desejadas. Objetivou-se realizar uma prospecção científica e tecnológica dos transgênicos usados na agricultura, em bases de dados internacionais. No ScienceDirect e no Web of Science foram indexados 4085 e 22787 artigos, respectivamente, enquanto, para patentes, foram encontrados 23816 (WIPO) e 642 (EPO). O interesse científico pelas plantas transgênicas cresceu na última década. A China apresentou o maior número de publicações científicas. Os Estados Unidos é o segundo país com maior número de pesquisas científicas com os transgênicos e, também, é o detentor do maior número de patentes. Assim, é possível prospectar a continuidade do crescimento de cultivares transgênicas, não apenas em termos de patentes, mas principalmente por meio de pesquisas mais abrangentes e aprofundadas sobre o desenvolvimento de novos eventos transgênicos, bem como seus benefícios e desvantagens.

Palavras-chave: Transgenia; Agricultura; Cultivares.

ABSTRACT

Transgenics are any organisms whose genetic material has been manipulated to favor certain desired characteristics. The objective was to carry out a scientific and technological prospect of transgenics used in agriculture, in international databases. In ScienceDirect and Web of Science, 4085 and 22787 articles were indexed, respectively, while, for patents, 23,816 (WIPO) and 642 (EPO) were found. Scientific interest in transgenic plants has grown in the last decade. China presented the highest number of scientific publications. The United States is the second country with the largest number of scientific research on transgenics and is, also, the holder the largest number of patents. Thus, it is possible to prospect the continued growth of transgenic cultivars, not only in terms of patents, but mainly through more comprehensive and in-depth research into the development of new transgenic events, as well as their benefits and disadvantages.

Keywords: Transgenics; Agriculture; Cultivars.

1 INTRODUÇÃO

A descoberta das leis da hereditariedade, assim como da estrutura química do material genético e a tradução do código genético, foram fatores essenciais para o advento da biotecnologia moderna (Moraes, 2022). Através do refinamento de métodos e a aplicação de técnicas de biologia molecular, foi possível manipular o material genético, atualmente conhecido como tecnologia do DNA recombinante ou engenharia genética (Silva *et al.*, 2020). A partir disso, surgiram as plantas que possuem, em seu genoma, a adição de DNA oriundo de uma fonte distinta do germoplasma paternal, denominadas transgênicas (Valois, 2001).

Transgênicos ou organismos geneticamente modificados (OGM) são quaisquer organismos cujo material genético, seja ele DNA ou RNA, tenha sido manipulado para favorecer determinadas características desejadas, ou seja, cujo material genético tenha sido deliberadamente alterado pelo homem através de técnicas de engenharia genética (Pinto Vieira,

Vieira Junior, 2005). No setor agroindustrial, a engenharia genética possibilitou a criação de plantas transgênicas com maior resistência a estresses bióticos e abióticos e alto valor nutricional, tornando-se uma solução mais rápida, econômica e duradoura para alcançar a sustentabilidade agrícola mundial (Marino, 2006).

Na produção de plantas geneticamente modificadas é necessário ter um sistema de cultura de tecidos que permita a regeneração das plantas e um sistema de transmutação genética que possibilite a adição eficiente de genes (Vargas *et al.*, 2018). A introdução de genes durante a transmutação gênica pode ser feita de forma direta, baseada em métodos físicos ou químicos, como a eletroporação de protoplastos, a biobalística e a microinjeção, ou indiretamente através de vetores que intermedeiam a transmutação, como *Agrobacterium tumefaciens* e *Agrobacterium rhizogenes* (Santarém, 2000). Esse último, também conhecido como engenharia natural, é o mais estudado e utilizado na transgenia de plantas por ser relativamente barato, simples e eficaz (Valois, 2001).

Nos últimos anos, a produção de organismos geneticamente modificados expandiu-se em praticamente todas as áreas agrícolas do mundo, de forma que a adoção da biotecnologia na agricultura atingiu um patamar nunca antes alcançado por outras tecnologias ao longo da história agrícola (Vargas *et al.*, 2018). Dentre as características mais relevantes encontradas nas plantas transgênicas, a tolerância a herbicidas e a resistência a insetos são amplamente prevalentes em todas as partes do mundo (Gerdes *et al.*, 2014). A utilização de variedades de plantas resistentes a herbicidas é uma tecnologia que contribui para a produção de alimentos de maneira mais sustentável devido ao fato de que seu uso reduz em mais da metade o número de pulverizações necessárias na lavoura, o que resulta na diminuição da movimentação do solo, do uso de combustível, da liberação de gases que contribuem para o efeito estufa, além de aumentar a retenção de umidade do solo, entre outros benefícios (Sausen *et al.*, 2020).

No entanto, características com valor adicional, como maiores teores de micronutrientes, rápido amadurecimento, maior valor nutricional e altos níveis de antioxidantes também têm sido objeto de grande atenção ultimamente (Costa *et al.*, 2011). Porém, a tecnologia transgênica ainda é fonte de muita controvérsia tanto âmbito científico quanto no social, para alguns grupos que defendem a modificação genética, ela é considerada uma tecnologia vantajosa e produtiva, mas grupos contrários a esta abordagem citam potenciais riscos a longo prazo (Furnival; Pinheiro, 2008). Diante da relevância dessa temática, o presente estudo objetivou realizar uma prospecção científica e tecnológica dos transgênicos usados na agricultura, visando descrever os avanços alcançados na transgenia de plantas através de análises de depósitos de patentes e publicações científicas.

2 METODOLOGIA

Este trabalho trata-se de um estudo documental exploratório com abordagem quantitativa. A pesquisa foi realizada em abril de 2025. A prospecção foi efetuada nas bases de dados científicos da *WebofScience* e *ScienceDirect* e nos bancos de patentes do Banco Europeu de Patentes (EPO) e *World Intellectual Property Organization* (WIPO), utilizando como descritores os termos "*genetically modified plants*", "*transgenic plants*", “plantas geneticamente modificadas” e “plantas transgênicas”, com aspas para maior precisão e em associação a operadores booleanos. Os termos em português foram utilizados visando maximizar os resultados na busca por patentes. Foram considerados válidos os documentos que apresentassem esses termos nos campos “título” e/ou no “resumo”. Optou-se por utilizar a *WebofScience* e WIPO para a seleção dos dados e elaboração dos gráficos, em virtude da maior disponibilidade de documentos encontrados nessas bases. As publicações científicas foram avaliados com base no ano, país e áreas de pesquisa. As patentes foram quantificadas por ano, países e Classificação Internacional de Patentes (CIP). Os dados coletados foram tabulados de forma individual, de acordo com as categorias de análises, e organizados em tabelas e gráficos, utilizando o programa Microsoft Excel 2019.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca nas bases de dados *WebofScience* e *ScienceDirect* resultou no total de 22787 e 4084 publicações indexadas, respectivamente. Nas bases de patentes, foram encontrados 23139 e 642 depósitos de patentes, respectivamente, para WIPO e EPO (Tabela 1).

Tabela 1 – Número de publicações científicas e patentes registradas por base de dados de acordo com os descritores utilizados.

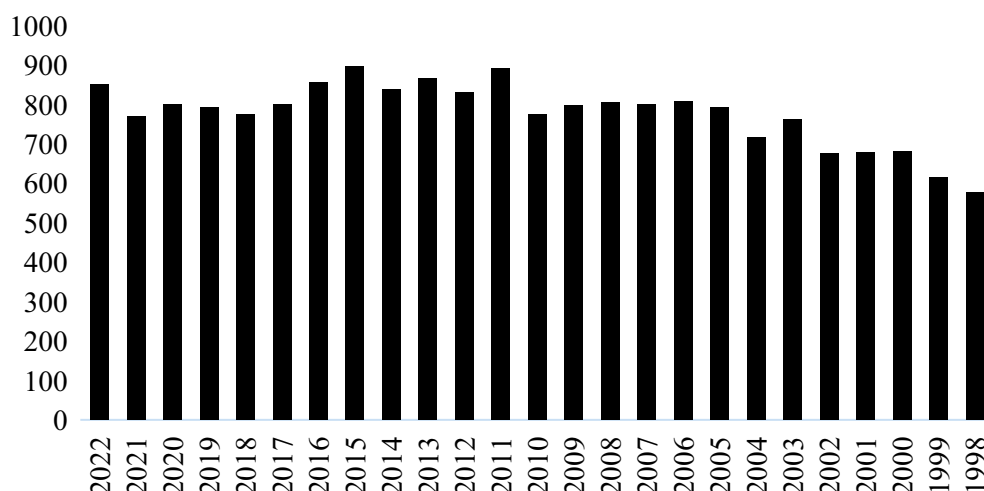
String de busca	Web of Science	ScienceDirect	WIPO	EPO
("genetically modified plants" OR "transgenic plants" OR "plantas geneticamente modificadas" OR "plantas transgênicas")	22787	4085	23816	642

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2023).

Prospecção Científica

O interesse científico pelos organismos geneticamente modificados cresceu na última década, com cerca de ~39,7% (n= 9.062) das publicações indexadas, o que pode ser observado na figura 1, que apresenta o número de publicações por período, a partir da data de publicação da primeira pesquisa científica, em 1998.

Figura 1 – Número de publicações na base de dados *Web of Science* referente as plantas transgênicas, no período de 1998 até 2022.



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2025).

O desenvolvimento de plantas transgênicas é um evento recente que ocorreu em decorrência dos avanços da biotecnologia e engenharia genética, incentivados pela Revolução Verde, nos Estados Unidos (Silva *et al.*, 2020). A Revolução Verde foi um movimento científico, que começou nos anos 60, baseado no melhoramento da produção agrícola através da mecanização da agricultura, emprego de inseticidas, herbicidas e adubos químicos e desenvolvimento de sementes transgênicas resistentes a estresses bióticos e abióticos, com maior valor nutricional e produtividade, objetivando maximizar os rendimentos das culturas em diferentes situações ecológicas (Matos, 2011).

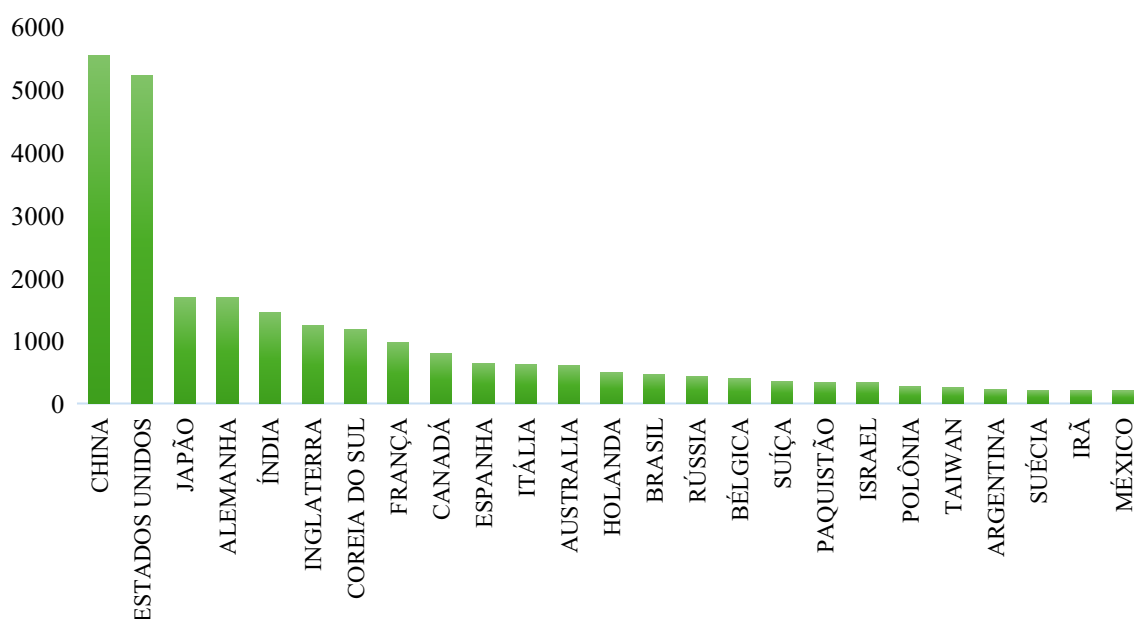
Para a engenharia genética, os alimentos geneticamente modificados podem ser uma maneira para combater a fome mundial que cresce paralelamente ao aumento populacional, influenciando, assim, o aumento de investimento em pesquisas na área da transgenia e melhoramento de técnicas biotecnológicas (Barros *et al.*, 2021). Dentre as vantagens dos transgênicos, destaca-se: (1) desenvolvimento de espécies com características desejáveis, (2) alteração no valor nutricional, (3) alimentos com prazo de validade estendido, (4) otimização do uso de insumos, ao reduzir o número de aplicações de inseticidas nas lavouras, (5) maior conservação do solo, ao adotar o plantio de sementes com tolerância a herbicidas, favorecendo o plantio direto e reduzindo a mobilização do solo, (6) aumento da produção de alimentos a custos baixos, devido ao aumento da produtividade e diminuição do uso de defensivos agrícolas (CropLifeBrasil, 2023). A modificação genética de plantas beneficia, portanto, o meio ambiente e os agricultores, que conseguem produzir uma maior quantidade de alimentos com redução dos gastos (Embrapa, 2023).

Entretanto, o cultivo de plantas transgênicas envolve muitos interesses e conflitos, sendo um tema frequentemente debatido em encontros científicos, econômicos e políticos, em função dos potenciais impactos desses alimentos na saúde humana e animal e na biodiversidade (Nodari; Guerra, 2003). De acordo com Nodari (2018), o desenvolvimento comercial de plantas transgênicas negligenciou três questões importantes: (1) a introdução do mesmo gene em dois tipos diferentes de células pode resultar em duas moléculas proteicas muito diferentes; (2) a introdução de qualquer gene, seja da mesma espécie ou de uma espécie diferente, geralmente altera significativamente a expressão global dos genes e, portanto, o fenótipo da célula receptora; e (3) as vias enzimáticas inseridas para a síntese de moléculas, como exemplo as vitaminas, podem interatuar com as vias endógenas, resultando na produção de novas moléculas.

A análise dos riscos dos organismos geneticamente modificados envolve a identificação de características que podem causar efeitos adversos, a avaliação das suas possíveis consequências e a estimativa da probabilidade de ocorrência (Costa *et al.*, 2011). O problema deste tipo de análise é que os possíveis efeitos não podem ser completamente previstos. Dentre os potenciais riscos para a saúde humana e animal, destaca-se o desenvolvimento de alergias, toxicidade e intolerâncias e, para o meio ambiente, os danos seriam a transferência horizontal de genes e, conseqüentemente, a contaminação genética e os efeitos nocivos sobre organismos não-alvo (Costa *et al.*, 2011). A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) são responsáveis pelas fiscalizações das pesquisas e testes com os organismos geneticamente modificados e, até o momento, não existem estudos que comprovem que esses alimentos possam induzir o aparecimento de doenças em humanos ou animais, ou prejudicar o meio ambiente (Embrapa, 2023).

Em relação a origem das publicações científicas relacionadas a transgenia de plantas, a China apresentou o maior número de registros, com 5545, correspondendo a ~24,33% do total, seguida pelos Estados Unidos e Japão, com 5222 e 1690 registros, respectivamente (Figura 2).

Figura 2 – Distribuição por país de publicações indexadas na base *Web of Science* referente as plantas transgênicas.



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2025).

A China foi o primeiro país a permitir o comércio de culturas geneticamente modificadas, no início da década de 1990, com a inserção do tabaco e tomate resistentes a vírus e é, atualmente, um dos países que mais investem em programas de pesquisa e inovação em biotecnologia de plantas transgênicas, o que justifica o maior número de publicações encontradas (Ribeiro; Marin, 2012). Os Estados Unidos é o maior produtor de transgênicos no mundo, com 71.5 milhões de hectares destinados ao plantio de cultivares geneticamente modificados, seguido pelo Brasil e Argentina com 52.8 milhões e 24 milhões de hectares, respectivamente (Embrapa, 2023).

O Brasil, embora seja o segundo maior produtor de alimentos transgênicos do mundo, apresentou apenas 2% (n=465) do total de publicações científicas (Moraes, 2022). A multinacional Monsanto foi a primeira empresa, no Brasil, a solicitar a legislação do plano nacional de uso de transgênicos, em 1998 (Pereira *et al.*, 2022). No mesmo ano, a Monsanto obteve a aprovação da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) para comercializar a soja *Roundup Ready* (GTS 40-3-2) tolerante ao herbicida glifosato, a primeira planta transgênica no país, entretanto, essa variedade já era cultivada ilegalmente, por meio de sementes provenientes da Argentina (Castro, 2016).

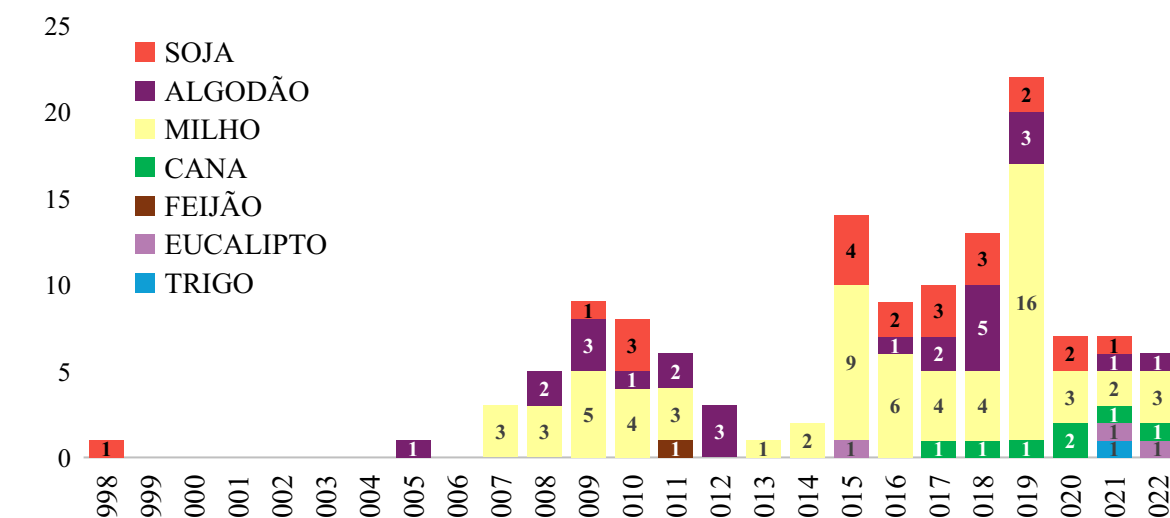
A aprovação da soja RR foi alvo de contestações por várias instituições, incluindo o Instituto de Defesa do Consumidor (IDEC) e grupos ativistas, como o Greenpeace, e, como resultado do descontentamento nacional, a legalização do uso de transgênicos foi adiada

(Pelaez; Schmidt, 2010). Em 2003, através da Lei 10.688, os transgênicos foram temporariamente legalizados no país, e a aprovação definitiva ocorreu em 2005, após a criação da Lei de Biossegurança (Pereira *et al.*, 2022). Os impulsos iniciais para a adoção de soja transgênica no Brasil foram as enormes perdas de produtividade causadas pelas ervas daninhas, criando um fator limitante no cultivo dessa espécie (CTNBio, 2010a). Além do Brasil, essa soja é aprovada para consumo humano e animal em outros países como Estados Unidos e China e, também, no continente europeu (CroplifeBrasil, 2023).

O CTNBio é o órgão responsável pelas aprovações comerciais de plantas transgênicas no Brasil, e baseia-se nas avaliações dos riscos à saúde humana, ao meio ambiente e às normas zoofitossanitárias (CTNBio, 1998). Caso o parecer técnico emitido pelo CTNBio obtenha resultados favoráveis, a planta geneticamente modificada torna-se autorizada para a semeadura, consumo, comercialização, importação e descarte (Mota, 2011). Os procedimentos regulatórios envolvidos na autorização de novos eventos transgênicos, até o momento da introdução das sementes geneticamente modificadas no mercado, são complexos e passam por diferentes órgãos públicos, de forma que a aprovação comercial cedida pelo CTNBio torna-se um marco, juntamente com o cadastro deste evento no Registro Nacional de Cultivares (RNC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Governo Federal (Xavier *et al.*, 2018). O cadastro de cultivares pode ser reivindicado por qualquer pessoa física ou jurídica, que adquira ou apresente uma nova variedade e que possua os direitos de proteção ou que tenha a autorização legal do obtentor, e possibilita a organização do mercado ao atuar na proteção dos agricultores frente ao comércio ilegal de sementes e mudas de variedades que não foram avaliadas de acordo com as normas agrícolas brasileiras (Carvalho *et al.*, 2008).

De acordo com dados do CTNBio (2023), existem 127 plantas transgênicas aprovadas para cultivo ou consumo no Brasil, distribuídos entre cultivares de milho, com 68 eventos, algodão (25), soja (22), cana-de-açúcar (7), eucalipto (3), trigo (1) e feijão (1), conforme figura 3. A partir da introdução da *Roundup Ready* (RR), a primeira planta transgênica aprovada no Brasil, em 1998, iniciou-se uma grande revolução na agricultura local, que passou a adotar o cultivo de organismos geneticamente modificados em maior escala. O milho, considerado como a maior cultura agrícola produzida no mundo, se destaca por possuir o maior número de eventos transgênicos no país, o que está relacionado a sua grande importância econômica, com emprego que varia desde a alimentação animal e humana até as indústrias farmacêuticas e tecnológicas, como a fabricação de bioplásticos, óleos e etanol, além do fácil cultivo, estando presente em quase todos os continentes (Mota, 2011).

Figura 3 – Número de eventos transgênicos existentes para cada cultura no Brasil, no período de 1998 até 2022.



Fonte: CTNBio (2023).

O primeiro evento transgênico aprovado para o milho foi o MON810 (Milho Guardian) em 2007, que caracteriza-se por ser resistente a insetos da ordem lepidóptera, devido à codificação da toxina Cry1Ab nos tecidos do cultivar (Armstrong *et al.*, 1995). Apesar do Brasil ser um grande produtor de OGM, também é o país com o maior consumo de agrotóxicos no mundo, seguido pelo Estados Unidos e China (Syngenta, 2023). Este fato pode estar relacionado ao clima tropical brasileiro que beneficia a propagação de pragas e, por conseguinte, a necessidade de mais aplicações de agrotóxicos (Silva *et al.*, 2022). Entretanto, é importante destacar que as empresas multinacionais responsáveis pela venda de sementes e plantas transgênicas também são responsáveis pela distribuição de pesticidas especialmente desenvolvidos para essas sementes e culturas (Moraes *et al.*, 2015).

Ao analisar as principais áreas de pesquisas das publicações científicas no *Web of Science*, constata-se que a área de Ciências Vegetais surge em primeiro lugar com ~54% (n=12.502) (Tabela 1), seguida por Bioquímica e Biologia Molecular com ~20% (n=4.757) e Microbiologia aplicada à Biotecnologia com ~17% (n=4.099), conforme a tabela 1. Os estudos na área de ciência vegetal, biologia molecular e biotecnologia aplicados à agricultura possibilitaram não somente aumentar a produtividade alimentar e melhorar a qualidade dos cultivares, como também minimizar os custos de produção e desenvolver manejos menos prejudiciais ao ambiente (Vargas *et al.*, 2028).

Tabela 1 – Distribuição das publicações referente as plantas transgênicas, indexadas por áreas, na base *Web of Science*.

Áreas de Pesquisa	Web of Science	%
Ciências Vegetais	12502	54,86%
Bioquímica e Biologia Molecular	4757	20,87%
Microbiologia aplicada à Biotecnologia	4099	17,98%
Agronomia	1429	6,29%

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2025).

Desde os tempos mais antigos, muito antes do homem compreender a Biologia, ele já utilizava técnicas envolvendo microrganismos para produzir vinhos e pães, contudo, foi apenas em 1665, quando Robert Hooke fez a descoberta das células, que se abriram as portas para todas as descobertas em Biologia (Brito Ferreira *et al.*, 2020). Décadas mais tarde, no final do século XIX, Gregor Mendel desvendou os segredos da hereditariedade ao realizar cruzamentos entre ervilhas com diferentes cores de flores no jardim de um monastério, o que inspirou a origem a uma nova ciência: a Genética (Borém, 2005a). Após a descoberta da estrutura helicoidal do DNA, por Watson e Crick em 1953, obtivemos um conhecimento mais detalhado do material genético, possibilitando a criação de ferramentas científicas revolucionárias, onde a mais conhecida é a técnica de DNA recombinante, que se baseia na habilidade de mesclar DNA de dois organismos vivos diferentes e, assim, a biotecnologia deu início ao estudo do DNA dos organismos (Borém, 2005b).

Os avanços na genética das plantas reduziram a dependência excessiva da agricultura em relação as técnicas mecânicas e químicas que sustentaram a Revolução Verde, de forma que as pesquisas em biotecnologia vegetal revolucionaram o setor agrícola mundial ao desenvolver métodos que permitem identificar e selecionar genes que codificam qualidades benéficas, utilizá-los como marcadores moleculares em processos de seleção assistida ou expressá-los em outro organismo através da transgenia, obtendo, com maior exatidão, características desejáveis nos cultivos de plantas (Carrer *et al.*, 2010). Estabelecer uma agricultura sustentável, que preserve o meio ambiente e garanta a segurança alimentar no futuro, é um fator crucial para o desenvolvimento da raça humana frente às mudanças climáticas e ao declínio das reservas energéticas não renováveis (Carrer *et al.*, 2010).

Diante das projeções de crescimento populacional mundial, que devem atingir por volta de nove bilhões de habitantes até 2050, surge o desafio de criar métodos avançados e eficientes para aumentar a produção de alimentos e energia renovável sem esgotar os recursos naturais

(Ash *et al.*, 2010). Estimativas indicam que no ano de 2050, o mundo enfrentará três grandes conflitos: a redução das reservas de petróleo, a carência de água potável e a insuficiência alimentícia para grande parte da população e, nesse contexto, a biotecnologia de plantas desempenha um papel fundamental na busca por soluções para mitigar os problemas atuais e futuros causados pelos seres humanos (Carrer *et al.*, 2010). De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), estima-se que mais de 2 bilhões de pessoas em todo o mundo não têm acesso a água potável, o que representa cerca de 26% da população global, e a agricultura é responsável por aproximadamente 70% do consumo de água do planeta, e o uso descontrolado de pesticidas e fertilizantes contribui para a contaminação dos lençóis freáticos e dos aquíferos subterrâneos (Aquastat-FAO, 2010; ONUNews, 2023).

Com o intuito de aprimorar a eficiência na utilização da água na agricultura, a biotecnologia desempenha um papel importante em duas vertentes distintas: no desenvolvimento de espécies resistentes à seca, reduzindo a necessidade de irrigação intensiva e preservando a água presente no solo, e no aprimoramento genético de variedades que possuem resistência a pragas e doenças, diminuindo, assim, a necessidade de utilização de produtos químicos nas plantações (Carrer *et al.*, 2010). Na produção de alimentos, a biotecnologia pode ser uma ferramenta para aumentar a produção agrícola, por meio da aplicação do conhecimento molecular relacionado à função dos genes e às redes reguladoras envolvidas na tolerância ao estresse, desenvolvimento e crescimento, possibilitando a criação de novos tipos de plantas (Takeda; Matsuoka, 2008).

Atualmente, a produção de transgênicos está amplamente disseminada em quase todas as áreas agrícolas do mundo, e a adoção da engenharia genética pelos produtores atinge níveis sem precedentes quando comparados a outras tecnologias utilizadas na história da agricultura e, segundo Carret *et al.* (2010), nos próximos anos, ocorrerá uma redução dos custos para o desenvolvimento e implantação de plantas geneticamente modificadas, tornando a prática mais acessíveis para pequenos e médios produtores, possibilitando maior agregação de valor aos seus produtos e, conseqüentemente, aumentando a sua renda, além de contribuir para reduzir o êxodo rural.

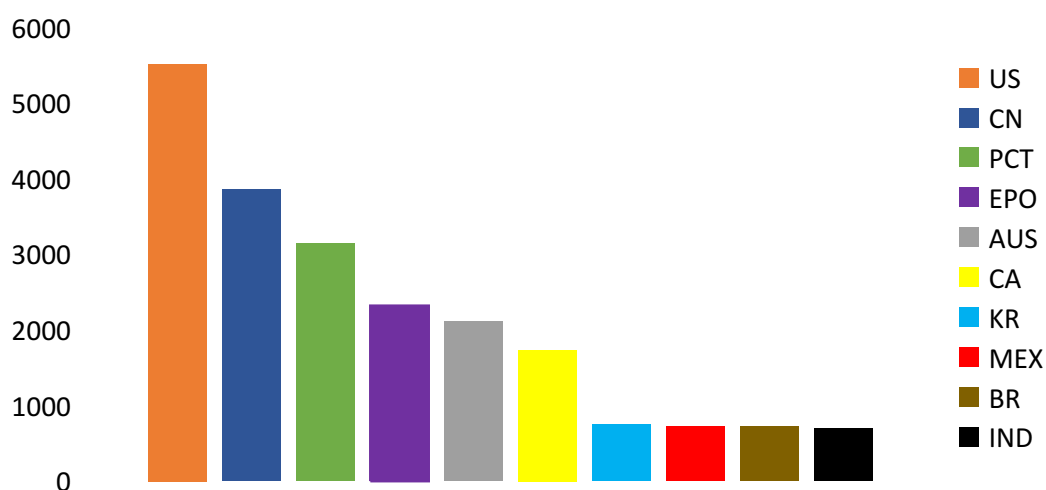
Prospecção tecnológica

As patentes são aplicadas às plantas transgênicas, o que significa que se um agricultor optar por cultivá-las, ele terá que remunerar a empresa titular da patente, transformando-o em um dependente de empresas internacionais, compelido a adquirir sementes transgênicas a cada colheita (Medeiros *et al.*, 2017). Com relação a distribuição de patentes de plantas transgênicas por países, os Estados Unidos é o principal país depositário, com 5517 patentes, o que

representa, aproximadamente, 23,06% do total de depósitos. A China é o segundo maior depositário, com 3861, equivalente a 16,14% e em terceiro lugar está o Tratado de Cooperação de Patentes com 3142 depósitos, correspondendo a 13,13% (Figura 4). O Brasil apresentou 717 registros de patentes. Estes dados refletem com os resultados encontrados na prospecção científica onde a China e Estados Unidos apresentaram o maior número de publicações científicas.

O Tratado de Cooperação em Patentes é um tratado multilateral que permite a qualquer inventor, empresa ou instituição de pesquisa proteger uma invenção simultaneamente em todos os países signatários por meio de um único pedido, denominado pedido internacional de patente, o que simplifica a proteção de invenções e torna o processo mais econômico, dentre os 65 milhões de documentos de patentes disponíveis na WIPO, aproximadamente 3,2 milhões de pedidos referem-se ao PCT, portanto é compreensível que esta plataforma tenha ficado em terceiro lugar (Silva *et al.*, 2014; Nascimento *et al.*, 2017).

Figura 4 – Distribuição de patentes referentes as plantas transgênicas, por país, na base de dados tecnológicos WIPO, sendo US (Estados Unidos), CN (China), PCT (Tratado de Cooperação de Patentes), EPO (European Patent Office), AUS (Austrália), CA (Canadá), KR (República da Coreia), MEX (México), BR (Brasil) e IND (Índia).

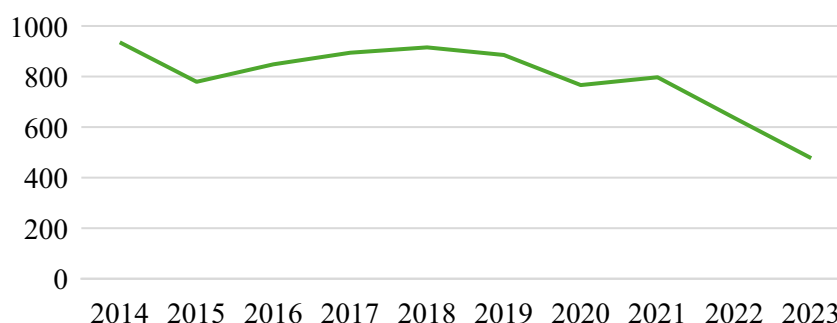


Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2025).

O investimento em aplicações tecnológicas envolvendo os organismos geneticamente modificados aumentou na última década. Aproximadamente 32% do total de patentes presentes na WIPO, para essa temática, foi depositada no período de 2014 até 2023 (figura 4). O ano de 2014 foi o que evidenciou a maior quantidade, com 908 depósitos. Este resultado corrobora com o observado por Souza *et al.* (2015) ao afirmar que, no início da década de 2010, houve

um crescimento dos registros de patentes quando comparado a década de 2000, o que pode estar associado a importância atribuída à criação e proteção da propriedade intelectual, bem como uma maior proximidade das relações entre instituições de ensino e pesquisa e indústrias investidoras em inovações tecnológicas.

Figura 5 – Patentes referentes a plantas transgênicas registrados nas bases WIPO por ano de depósito, no período entre 2014 até 2023.



Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Desde a década de 1997, a área e a produção global de organismos geneticamente modificados não parou de crescer. Em 2022, a área global de culturas transgênicas atingiu um pico de 202,2 milhões de hectares, por 27 países, com um máximo de 17 a 18 milhões de agricultores, o que determina que as plantas geneticamente modificadas são a tecnologia agrícola com a maior taxa de adoção nos últimos tempos (Morais *et al.*, 2015). Entre os produtos mais cultivados, destaca-se a soja com resistência ao herbicida glifosato, sendo a cultura transgênica mais explorada mundialmente, com 98,9 milhões de hectares em 2022, representando cerca de 48,9% de todas as culturas geneticamente modificadas cultivadas globalmente (Antama, 2023). Estima-se que o uso da soja transgênica resulte em uma redução de custos de 20% a 30% em comparação com a produção de soja convencional, o que tem impulsionado e continua impulsionando um crescimento significativo no plantio de transgênicos nos principais países produtores ao redor do mundo, inclusive no Brasil (Silva *et al.*, 2022).

A Classificação Internacional de Patentes (CIP) é uma forma importante de classificação de patentes por aplicação, servindo de base para criação de estatísticas de propriedade industrial e possibilitando a avaliação dos desenvolvimentos tecnológicos em diferentes campos, através de uma linguagem de fácil compreensão (Serafini *et al.*, 2012). A análise dos depósitos segundo o CIP evidenciou que as aplicações técnicas das plantas transgênicas encontram-se, principalmente, na área de química com o maior número de patentes pertencentes a secção C (Química; Metalurgia), principalmente nas subclasses C12N (Microrganismos ou enzimas;

Propagação, Preservação ou manutenção de Microrganismos; Mutações ou Engenharia Genética; Meio de Cultura) e C07K (Peptídeos) com 21809 e 8291 depósitos, respectivamente (Figura 5).

A seção A (necessidades humanas) também apresentou um número significativo de patentes, principalmente, na subclasses A01H (Novas plantas ou processos para obtê-las; Reprodução de plantas por técnicas de cultura de tecidos) e A01N (Preservação de corpos de humanos ou de animais ou de plantas ou partes deles; Biocidas; Repelentes ou atrativos de pragas; Reguladores de crescimento de plantas) com 13585 e 1747 depósitos, respectivamente. Além dessas, também houveram registros indexados na seção G (Física) e subclasse G01N (Investigação ou análise de materiais determinando suas propriedades químicas ou físicas) com 516 documentos.

Figura 5 - Distribuição conforme a Classificação Internacional de Patentes (CIP) dos depósitos de pedidos de patentes referentes as plantas transgênicas, encontrados na base WIPO.



Fonte: Elaborada pelos autores desse artigo (2025).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do presente estudo, obteve-se uma visão detalhada da produção científica e tecnológica sobre transgenia de plantas, além de revelar o aumento do interesse dos pesquisadores nos organismos vegetais geneticamente modificados e dos investimentos em depósitos de patentes ao longo das décadas. As pesquisas científicas tiveram início em 1998, com grande evolução nos últimos anos, impulsionadas pelos avanços da biotecnologia e engenharia genética. A liderança de publicações científicas é representada pela China, visto que este país foi o primeiro a permitir o comércio de culturas transgênicas.

Os Estados Unidos se destaca como o segundo país com maior número de pesquisas científicas com OGM e, também, é o detentor do maior número de patentes. Observou-se que o Brasil, apesar de ser o segundo maior produtor de transgênicos no mundo, apresentou um

menor números de publicações científicas e depósitos de patentes. As patentes (CIP) para as plantas transgênicas estão incluídas na seção C, referente a área da química, principalmente na subclasse C12N, referente a mutação ou engenharia genética.

Assim, é possível prever a continuidade do crescimento de cultivares transgênicas, não apenas em termos de patentes, mas principalmente por meio de pesquisas mais abrangentes e aprofundadas sobre o desenvolvimento de novos eventos transgênicos, bem como seus benefícios e desvantagens. No contexto da agricultura brasileira, é necessário direcionar maiores investimentos em pesquisa científica e tecnológica, considerando o potencial do país e o impacto que o desenvolvimento de novas cultivares pode ter ao conferir aos produtores brasileiros uma maior competitividade no mercado internacional.

REFERÊNCIAS

ALVES, G. S. A Biotecnologia dos transgênicos: precaução é a palavra de ordem. **HOLOS**, v. 2, 26 dez. 2007.

ANTAMA, F. **La superficie mundial de cultivos transgênicos aumentó un 3,3% en 2022 - Fundacion Antama**. Disponível em: <<https://fundacion-antama.org/la-superficie-mundial-de-cultivos-transgenicos-aumento-un-33-en-2022/>>. Acesso em: 11 abril. 2025.

AQUASTAT- FAO. 2010. Disponível em:<<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>>.

ARMSTRONG, C. L. et al. Field Evaluation of European Corn Borer Control in Progeny of 173 Transgenic Corn Events Expressing an Insecticidal Protein from *Bacillus thuringiensis*. **Crop Science**, v. 35, n. 2, p. 550, 1995.

ASH, C. et al. Feeding the future. **Science**, v.327, p.797, 2010.

BARROS, B. M. DE; OLIVEIRA, B. M. DE; SILVA, M. C. DA. Alimentos transgênicos: Benefícios, malefícios e controvérsias. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 17, p. e86101724543, 21 dez. 2021.

BORÉM, A. Impacto da biotecnologia na biodiversidade. **Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, v. 8, n. 34, p. 22 - 27, 2005.

BORÉM, A. Impacto da biotecnologia na biodiversidade. **Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, v. 8, n. 34, p. 22-27, 2005.

BRITO FERREIRA, C. C. et al. Biotecnologia. **Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN)**, v. 4, n. 1, 30 out. 2020.

CARRER, H.; BARBOSA, A. L.; RAMIRO, D. A. Biotecnologia na agricultura. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 70, p. 149-164, 2010.

CARVALHO, I. M. et al. Abordagem sobre Proteção e Registro de Cultivares. In: FALEIRO, Fábio Gelape; FARIAS NETO, Austeclínio Lopes de; RIBEIRO JÚNIOR, Walter Quadros (Org.). **Pré- melhoramento, melhoramento e pós-melhoramento: estratégias e desafios**. 1. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2008. p. 19-183.

CASTRO, B. S. de. Reconstrução histórica da introdução difusão e disputa a respeito dos transgênicos no Brasil: das contendas jurídicas a opinião pública. **Rev. Fronteiras: Journal of social, technological and enviromental science**, Rio de janeiro, v. 5, n. 2, p. 43-67, jan./jun., 2016.

COMISSÃO TÉCNICA NACIONAL DE BIOSSEGURANÇA. **Comunicado n.º 54, de 29 de setembro de 1998**. Publicado no Diário Oficial da União nº 188, Seção 03 – p. 56, 01 de outubro de 1998.

COMISSÃO TÉCNICA NACIONAL DE BIOSSEGURANÇA. **Liberação Comercial de Soja Geneticamente Modificada Tolerante ao Glufosinato de Amônio, Soja Liberty Link (soja LL)**. (Parecer Técnico n.º 2286/2010). Brasília, DF, 2010a. Disponível em: <<http://www.ctnbio.gov.br/index.php/content/view/14666.html>>. Acesso em 17 abril de 2025.

COSTA, T. E. M. M. *et al.* Avaliação de risco dos organismos geneticamente modificados. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, p. 327–336, 1 jan. 2011.

CROPLIFE BRASIL. **GTS-40-3-2 (Roundup Ready™ soybean)**. Disponível em: <<https://croplifebrasil.org/biotecnologicos/gts-40-3-2-roundup-ready/>>. Acesso em: 17 abril. 2025.

CULTIVAR WEB. [Base de dados – Internet]. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2023. Disponível em: <http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas>.

EMBRAPA. **A trajetória dos organismos transgênicos**. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/olhares-para-2030/artigo-/asset_publisher/SNN1QE9zUPS2/content/francisco-jose-lima-aragao?inheritRedirect=true>. Acesso em 20 nov. 23.

FURNIVAL, A. C.; PINHEIRO, S. M. A percepção pública da informação sobre os potenciais riscos dos transgênicos na cadeia alimentar. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 15, n. 2, p. 277–291, jun. 2008.

GERDES, L. A abordagem estatística para quantificação de organismos geneticamente modificados (OGM), utilizando as distribuições de frequência. **Jornal BioMed Central**, v. 1, n. 3, p. 567-587, 2014.

MARINO, C. L. Melhoramento Genético de Plantas e os Transgênicos. **Genética na Escola**, v. 2, p. 75 - 78, 2006.

MATOS, A. K. V. Revolução verde, biotecnologia e tecnologias alternativas. **Cadernos da FUCAMP**, v. 10, n. 12, p. 1-17, 2011. Disponível em: <<https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/cadernos/article/view/134>>. Acesso em 20 abril de 2025.

MEDEIROS, M. *et al.* Os transgênicos e a alimentação escolar: dimensões contemporâneas da segurança alimentar e nutricional. **Educ. Ci. E Saúde**, v. 4, n. 1, p.66-83, 2017.

MORAES, A. C. F. D. **Alimentos transgênicos e seus impactos no Brasil**. 2022. 52p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) —Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo, 2022.

MORAIS, J. *et al.* Protección jurídica de la materia biológica vegetal. Transgénicos, patentes y obtenciones vegetales. **Opinion juridica**, v. 15, n. 30, p. 145–168, 1 dez. 2016.

- MOTA, A. A. R. **Transgenia no Brasil: eventos autorizados e cultivares registradas**. 2011. 124 f. Monografia (Graduação em Agronomia e Medicina Veterinária) – Universidade de Brasília, UNB, Brasília, 2011.
- NASCIMENTO, Jaqueline S. *et al.* Estudo prospectivo relativo à atividade antifúngica de *Schinus terebinthifolius* (aroeira) no período de 1990 a 2016. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 10, n. 4, p. 839-850, 2017.
- NODARI, R. O. Plantas transgênicas: da falta de precisão à falta de eficácia. In: Sonia Corina Hess. (Org.). **ENSAIOS SOBRE POLUIÇÃO E DOENÇAS NO BRASIL**. 1aed. São Paulo, SP: Outras Expressões, 2018, v. 1, p. 107-128.
- NODARI, R. O.; GUERRA, M. P. Plantas transgênicas e seus produtos: impactos, riscos e segurança alimentar (Biossegurança de plantas transgênicas). **Revista de Nutrição**, v. 16, n. 1, p. 105–116, jan. 2003.
- ONUNews. **46% da população global vive sem acesso a saneamento básico | ONU News**. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2023/03/1811712>>.
- PELÁEZ, V., SCHMIDT, W. A difusão dos OGM no Brasil: imposição e resistências. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 14, p. 05 - 31, 2000.
- PEREIRA, L. F. *et al.* Transgênicos: a relação entre o conhecido e o desconhecido. **Nutritime Revista Eletrônica**, Viçosa, v. 19, n. 4, p. 9105–9113, jul./ago. 2022.
- PINTO VIEIRA, A.C.; VIEIRA JUNIOR, P. A. Direitos dos consumidores e produtos transgênicos: Uma questão polêmica para a Bioética e o Biodireito. **Juruá Editora**, n. 1, Curitiba, p. 154, 2005.
- RESENDE, R. R. **Biotecnologia Aplicada à Saúde: Fundamentos e Aplicações**. Editora Blucher, v. 2, n. 1, p.16-64, 2015.
- RIBEIRO, I. G.; MARIN, V. A. A falta de informação sobre os Organismos Geneticamente Modificados no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 2, p. 359–368, fev. 2012.
- SANTARÉM, E. R. Métodos eficientes para a transformação genética de plantas. **Revista de Ciência e Tecnologia**, n. 15 p. 81-90, Jul. 2000. Disponível em: <<http://www.unimep.br/phpg/editora/revistaspdf/rct15art10.pdf>> Acesso em novembro de 2023.
- SAUSEN, D. *et al.* Biotecnologia aplicada ao manejo de plantas daninhas / Biotechnology applied to weed management. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 23150–23169, 4 maio 2020.
- SERAFINI, M. R. *et al.* Mapeamento de tecnologias patenteáveis com o uso da hecogenina. **Revista Geintec**, v. 2, n. 5, p. 427-435, 2012.
- SILVA, A. P. S. C. L.; SILVA, J. C. C. L.; FREITAS, R. M. Utilização de plantas medicinais no tratamento e/ou prevenção da epilepsia: uma prospecção tecnológica. **Revista Geintec**, v. 4, n. 2, p. 876-883, 2014.
- SILVA, D. N. L. da *et al.* Alimentos transgênicos: impactos na saúde humana e ambiental. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p. e494111436511, 3 nov. 2022.

SILVA, M. S. *et al.* Alimentos transgênicos e segurança alimentar e nutricional no Brasil / Transgenic foods and food and nutritional security in Brazil. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 5, p. 11901–11923, 2020.

SOUZA, A. A. *et al.* Terpenos com aplicação cardiovascular. **Revista Geintec**, v. 5, n. 2, p. 1948-1954, 2015.

SYGENTA. **Milho: maior cultura agrícola produzida no mundo**. Disponível em: <<https://portal.syngenta.com.br/noticias/milho-maior-cultura-agricola-produzida-no-mundo>>. Acesso em: 17 nov. 2023.

TAKEDA, S.; MATSUOKA, M. Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population changes. **Nature Reviews Genetics**, v.9, p.444-57, 2008.

VALOIS, A. C. C. Importância dos transgênicos para a agricultura. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 18, n. 1, p. 27-53, 2001.

VARGAS, B. D. *et al.* BIOTECNOLOGIA E ALIMENTOS GENETICAMENTE MODIFICADOS: UMA REVISÃO. **Revista Contexto & Saúde**, v. 18, n. 35, p. 19–26, 20 dez. 2018.

VIEIRA FILHO, J. E. R. Difusão Biotecnológica: a adoção dos transgênicos na agricultura. **Texto para Discussão**, 2014.

XAVIER; T. D. de A. *et al.* **Análise Prospectiva do Algodão Transgênico no Brasil**. Cadernos de Prospecção, v. 11, n. 3, p. 927-927, 2018.